



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Η ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΩΣ ΜΕΣΟ
ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ**

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΚΩΤΣΟΣ, ΑΕΜ:1368

ΛΑΠΠΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΑΕΜ:1289

Επιβλέπουσα: Δρ. Ραφαέλλα-Ελένη Σωτηροπούλου

Κοζάνη, Ιούλιος 2017

Περίληψη

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας εξετάζεται η προώθηση της πυρηνικής ενέργειας ως μέσο ηλεκτροπαραγωγής στον Ελλαδικό χώρο. Απώτερος στόχος της εργασίας είναι η αντικειμενική εκτίμηση των προοπτικών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας από την χρήση πυρηνικών σταθμών, δίνοντας μεγάλη έμφαση και στο ευρύτερο κοινωνικοπολιτικό, θεσμικό, οικονομικό και τεχνολογικό πλαίσιο που την περικλείουν.

Στην αρχή γίνεται εκτενής παρουσίαση των διάφορων μορφών ενέργειας. Το πρώτο κομμάτι αναφέρεται στα ορυκτά καύσιμα δηλαδή στον γαιάνθρακα, στο πετρέλαιο, στο φυσικό αέριο και στο ουράνιο. Το δεύτερο κομμάτι αναφέρεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: την αιολική ενέργεια, την ηλιακή ενέργεια, την υδροηλεκτρική ενέργεια καθώς επίσης και στην ενέργεια από γεωθερμία και βιομάζα, επίσης γίνεται αναφορά και στην θαλάσσια ενέργεια. Έπειτα παρουσιάζεται το ενεργειακό τοπίο στην Ελλάδα και δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στα στοιχεία που αναφέρονται στην ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα. Γίνεται αναφορά στην ηλεκτροπαραγωγή με την χρήση ορυκτών καυσίμων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στις βασικές αρχές λειτουργίας των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται. Στο επόμενο κομμάτι της εργασίας δίνεται έμφαση στην πυρηνική ενέργεια. Πρωτίστως γίνεται παρουσίαση των βασικών στοιχείων λειτουργίας πυρηνικών τεχνολογιών, ενώ στη συνέχεια γίνεται μια ιστορική αναδρομή για τους πυρηνικούς αντιδραστήρες και παρουσίαση των τεχνικών χαρακτηριστικών ενός πυρηνικού σταθμού. Ένα άλλο μέρος της παρούσας εργασίας είναι η σύγκριση των ενεργειακών μορφών καθώς αναφέρεται στην σύγκριση των βασικών μεθόδων ηλεκτροπαραγωγής που χρησιμοποιούνται σήμερα στην Ελλάδα με την παραγωγή από πυρηνικούς σταθμούς.

Τέλος, παρουσιάζονται τα οικονομικά στοιχεία των μορφών ενέργειας, ο τρόπος χρηματοδότησης αυτών, οι οικονομικές εισφορές καθώς επίσης και οι οικονομικοί δείκτες αποδοτικότητας. Επίσης παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της ανάλυσης και οι προοπτικές υλοποίησης και προώθησης της πυρηνικής ενέργειας ως μέσο ηλεκτροπαραγωγής στον Ελλαδικό χώρο.

Abstract

This diploma thesis deals with the promotion of nuclear energy as a mean of power generation in Greece. The ultimate aim of this work is to objectively assess the prospects for the production of electricity by nuclear power stations, with a great emphasis on the broader socio-political, institutional, economic and technological framework that surrounds it.

At the beginning, the various forms of energy are extensively presented. The first part refers to fossil fuels, namely coal, oil, natural gas and uranium. The second part refers to the renewable energy sources: wind energy, solar energy, hydropower, geothermal and biomass energy, as well as marine energy. Next, the energy landscape in Greece is presented and particular emphasis is placed on the electricity generation data and facts in Greece. Reference is made to electricity generation using fossil fuels and renewable energy sources and to the basic principles of operation of the technologies used. The next part of the thesis focuses on nuclear energy. Firstly, the basic operation principles of nuclear technologies are presented, followed by a historical review on nuclear reactors and a presentation of a nuclear power plant technical characteristics. The study then proceeds with a comparison of the different energy forms to nuclear energy by comparing the basic methods used currently for power generation in Greece to a different scenario involving nuclear power stations.

Finally, the financial figures of the types of energy, funding, the financial contributions as well as the economic efficiency indicators are presented. The thesis concludes with the analysis and the prospects for the realization and promotion of nuclear energy as a mean of power generation in Greece.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο “Η πυρηνική ενέργεια ως μέσο ηλεκτροπαραγωγής στον Ελλαδικό χώρο” αποτελεί το επιστέγασμα των σπουδών μας στα πλαίσια της ολοκλήρωσης του προπτυχιακού κύκλου σπουδών μας στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας σε συνεργασία με την κ. Ρ. Σωτηροπούλου.

Αρχικά θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά την κ. Ραφαέλλα Ελένη Σωτηροπούλου για την ανάθεση και την επιλογή ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος καθώς επίσης και για την επίβλεψη και τις χρήσιμες συμβουλές που μας παρείχε κατά την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, ευχαριστούμε ολόκληρο το ανθρώπινο δυναμικό της σχολής, για τη συνεργασία τους και την προθυμία τους να μας παρέχουν τις γνώσεις και τις εμπειρίες τους κατά την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας και καθ’ όλη τη διάρκεια των σπουδών μας.

Τέλος, θα θέλαμε λοιπόν σε αυτό το σημείο, να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας που μας έδωσαν την δυνατότητα να σπουδάσουμε και πάντα στήριζαν τις επιλογές μας καθώς επίσης και τους φίλους μας και όλους εκείνους που στάθηκαν δίπλα μας, σε ολόκληρη τη φοιτητική μας πορεία.

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή | 1 |
| Κεφάλαιο 2. Μορφές ενέργειας | 4 |
| 2.1 Ορυκτά καύσιμα | 4 |
| 2.1.1 Γαιάνθρακας | 5 |
| 2.1.2 Πετρέλαιο | 7 |
| 2.1.3 Φυσικό αέριο | 10 |
| 2.1.4 Ουράνιο | 13 |
| 2.2 Ανανεώσιμες πηγές Ενέργειας | 15 |
| 2.2.1 Αιολική ενέργεια | 17 |
| 2.2.2 Ηλιακή ενέργεια | 20 |
| 2.2.3 Υδροηλεκτρική ενέργεια | 23 |
| 2.2.4 Γεωθερμική ενέργεια | 24 |
| 2.2.5 Ενέργεια από βιομάζα | 26 |
| 2.2.6 Θαλάσσια ενέργεια | 28 |
| Κεφάλαιο 3 Ενεργειακό τοπίο της Ελλάδας | 30 |
| 3.1 Ηλεκτροπαραγωγή με καύσιμο γαιάνθρακα | 31 |
| 3.2 Ηλεκτροπαραγωγή με καύσιμο πετρέλαιο | 32 |
| 3.3 Ηλεκτροπαραγωγή με καύσιμο φυσικό αέριο | 32 |
| 3.4 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας | 34 |
| 3.4.1 Αιολική ενέργεια | 34 |
| 3.4.2 Ηλιακή ενέργεια | 38 |
| 3.4.3 Υδροηλεκτρικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής | 39 |
| 3.4.4 Άλλες Α.Π.Ε. | 40 |
| Κεφάλαιο 4 Εισαγωγή στις πυρηνικές τεχνολογίες | 43 |
| 4.1 Βασικά στοιχεία λειτουργίας πυρηνικών τεχνολογιών | 43 |
| 4.1.1 Αλυσιδωτή αντίδραση | 43 |
| 4.1.2 Πυρηνικά καύσιμα | 44 |
| 4.1.3 Διάταξη και λειτουργία πυρηνικού αντιδραστήρα | 47 |
| 4.1.4 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνικό σταθμό | 50 |
| 4.2 Εξέλιξη πυρηνικών τεχνολογιών | 52 |

| | |
|--|-----|
| 4.2.1 Εξέλιξη πυρηνικών αντιδραστήρων | 53 |
| 4.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά πυρηνικού σταθμού | 55 |
| 4.3.1 Αντιδραστήρες Ελαφρού Ύδατος | 55 |
| 4.3.1.1 Αντιδραστήρες Πεπιεσμένου Ύδατος | 56 |
| 4.3.1.2 Αντιδραστήρες Ζέοντος Ύδατος | 58 |
| 4.3.1.3 Προηγμένοι Αντιδραστήρες Ελαφρού Ύδατος | 60 |
| 4.3.2 Αντιδραστήρες Βαρέως Ύδατος | 60 |
| 4.3.2.1 CANDU | 61 |
| 4.3.3 Αεριοψυκτοι Αντιδραστήρες | 63 |
| 4.3.3.1 Αντιδραστήρες Γραφίτη – Αερίου | 64 |
| 4.3.3.2 Αεριοψυκτοι Αντιδραστήρες Βαρέως Ύδατος | 65 |
| 4.3.3.3 Προηγμένοι Αεριοψυκτοι Αντιδραστήρες | 65 |
| 4.3.3.4 Αεριοψυκτοι Αντιδραστήρες Υψηλής Θερμοκρασίας | 67 |
| 4.3.4 Αναπαραγωγικοί αντιδραστήρες | 68 |
| 4.3.4.1 Αναπαραγωγικοί αντιδραστήρες ταχέων νετρονίων υγρού-μετάλλου | 69 |
| 4.3.4.2 Αναπαραγωγικοί αεριοψυκτοι αντιδραστήρες | 70 |
| 4.3.4.3 Αναπαραγωγικοί αντιδραστήρες τετηγμένων αλάτων | 70 |
| 4.3.4.4 Αναπαραγωγικοί Αντιδραστήρες Ελαφρού Ύδατος (Light Water Breeder Reactors) | 72 |
| 4.3.5 Πυρηνικοί Αντιδραστήρες Σύντηξης | 72 |
| 4.4 Ασφάλεια πυρηνικού σταθμού | 73 |
| 4.5 Διαχείριση πυρηνικών αποβλήτων | 77 |
| Κεφάλαιο 5 Σύγκριση των ενεργειακών μορφών | 81 |
| 5.1 Σύγκριση ως προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις | 81 |
| 5.1.1 Επιπτώσεις των τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής στην ατμόσφαιρα | 81 |
| 5.1.2 Επιπτώσεις των τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής στους υδάτινους αποδέκτες | 91 |
| 5.1.3 Επιπτώσεις των τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής στο έδαφος | 92 |
| 5.2 Σύγκριση των ορυκτών καυσίμων ως προς τους παραγόμενους ρύπους | 93 |
| 5.3 Υφιστάμενο θεσμικό πλαίσιο | 97 |
| 5.3.1 Διεθνείς Δράσεις για την Κλιματική Αλλαγή | 98 |
| 5.3.2 Ευρωπαϊκές Δράσεις για την Αλλαγή του Κλίματος | 99 |
| 5.3.3 Ελληνική Πραγματικότητα αναφορικά με τις Δράσεις για την Κλιματική Αλλαγή | 101 |
| Κεφάλαιο 6 Τεχνοοικονομική μελέτη | 105 |

| | |
|--|-----|
| 6.1 Τεχνοοικονομικά Στοιχεία Πυρηνικών Σταθμών | 105 |
| 6.2 Χωροθέτηση Πυρηνικού Σταθμού | 105 |
| 6.3 Κατασκευή Πυρηνικού Σταθμού | 106 |
| 6.4 Εκτίμηση οικονομικών παραμέτρων και αποδοτικότητας πυρηνικού σταθμού | 108 |
| 6.4.1 Χρηματικές εισροές του πυρηνικού σταθμού από την εμπορευόμενη ηλεκτρική ενέργεια | 108 |
| 6.4.2 Συνολικές ετήσιες δαπάνες του πυρηνικού σταθμού | 112 |
| Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα | 120 |
| Βιβλιογραφία | 123 |

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Η ολοένα αυξανόμενη ενεργειακή ζήτηση καθώς και η συνεχής μείωση των αποθεμάτων του ορυκτού πλούτου, δημιουργούν την ανάγκη εξεύρεσης νέων πηγών για την παραγωγή ενέργειας. Η ανάγκη αυτή ενισχύεται από τις επιστημονικά τεκμηριωμένες έρευνες για τις συνέπειες που έχει η χρήση ορυκτών καυσίμων στο φυσικό περιβάλλον. Ο συνδυασμός των παραπάνω είχε σαν αποτέλεσμα την είσοδο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οι οποίες όμως δεν είναι ιδιαίτερα ανταγωνιστικές γεγονός που καθυστερεί την περαιτέρω διείσδυση τους. Εντούτοις, η διείσδυση της πυρηνικής ενέργειας ως μέσο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δημιουργεί ελπίδες ότι η ανθρωπότητα θα μπορέσει να ανταπεξέλθει στο ενεργειακό πρόβλημα και να το περιορίσει σε μεγάλο βαθμό.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της δυνατότητας προώθησης της πυρηνικής ενέργειας ως μέσο ηλεκτροπαραγωγής στον Ελλαδικό χώρο. Όπως είναι προφανές, η επιλογή της ενεργειακής πηγής και συγκεκριμένα της πυρηνικής ενέργειας δεν είναι ιδιαίτερα απλή υπόθεση. Απώτερος στόχος της εργασίας είναι η αντικειμενική εκτίμηση των προοπτικών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην χώρα μας από την χρήση πυρηνικών σταθμών, δίνοντας μεγάλη έμφαση όχι μόνο στο ενεργειακό τοπίο αλλά και στο ευρύτερο κοινωνικοπολιτικό, θεσμικό, οικονομικό και τεχνολογικό πλαίσιο που το περικλείει.

Για το σκοπό αυτό παρουσιάζονται συνοπτικά οι πηγές ενέργειας και η κατάσταση τους σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο. Γίνεται ειδική αναφορά στα ορυκτά καύσιμα, την κατανάλωση τους καθώς επίσης και στα αποθέματα που υπάρχουν. Όσο αναφορά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παρουσιάζεται και η αναμενόμενη παραγωγή από αυτές τα επόμενα έτη.

Στη συνέχεια αναφέρονται οι διαθέσιμες πυρηνικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε πυρηνικούς σταθμούς, και παρουσιάζεται μια ιστορική αναδρομή. Αναλύεται λεπτομερώς η λειτουργία ενός πυρηνικού σταθμού, Εξετάζονται τα οφέλη που προκύπτουν από την εφαρμογή των νέων τεχνολογικών επιτευγμάτων αλλά και οι κίνδυνοι που εξακολουθούν να ελλοχεύουν στην πυρηνική ανάπτυξη καθώς και οι δυσκολίες στην υλοποίησή τους.

Ακολούθως γίνεται σύγκριση και παρουσίαση των διαφόρων μορφών ηλεκτροπαραγωγής, έχοντας λάβει υπόψη οικονομοτεχνικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά κριτήρια και εξετάζοντας τα οφέλη που προκύπτουν σύμφωνα με αντίστοιχη διεθνή κι ελληνική βιβλιογραφία.

Όσον αφορά την δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αυτή διαρθρώνεται σε επτά (7) κεφάλαια, το περιεχόμενο των οποίων αναλύεται παρακάτω:

- Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Παρουσιάζεται ο σκοπός εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς και το περιεχόμενο κάθε κεφαλαίου.

- Κεφάλαιο 2: Μορφές ενέργειας

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται εκτενής παρουσίαση των διαφόρων μορφών ενέργειας. Το πρώτο κομμάτι αναφέρεται στα ορυκτά καύσιμα δηλαδή στον γαιάνθρακα, στο πετρέλαιο, στο φυσικό αέριο και στο ουράνιο. Το δεύτερο μέρος του κεφαλαίου αναφέρεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας την αιολική ενέργεια, την ηλιακή ενέργεια, την υδροηλεκτρική ενέργεια καθώς επίσης και στην ενέργεια από γεωθερμία και βιομάζα όπως επίσης γίνεται αναφορά και στην θαλάσσια ενέργεια.

- Κεφάλαιο 3: Ενεργειακό τοπίο στην Ελλάδα

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το ενεργειακό τοπίο στην Ελλάδα και δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στα στοιχεία που αναφέρονται στην ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα. Γίνεται αναφορά στην ηλεκτροπαραγωγή με την χρήση ορυκτών καυσίμων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στις βασικές αρχές λειτουργίας των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται.

- Κεφάλαιο 4: Εισαγωγή στις πυρηνικές τεχνολογίες

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στις πυρηνικές τεχνολογίες. Αρχικά γίνεται παρουσίαση των βασικών στοιχείων λειτουργίας πυρηνικών τεχνολογιών, ενώ στην συνέχεια γίνεται μια ιστορική αναδρομή για τους πυρηνικούς αντιδραστήρες και παρουσίαση των τεχνικών χαρακτηριστικών ενός πυρηνικού σταθμού.

- Κεφάλαιο 5: Σύγκριση των ενεργειακών μορφών

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στην σύγκριση των βασικών μεθόδων ηλεκτροπαραγωγής που χρησιμοποιούνται σήμερα στην Ελλάδα με την παραγωγή από πυρηνικούς σταθμούς. Η σύγκριση αυτή γίνεται ως προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και το υφιστάμενο θεσμικό πλαίσιο.

- Κεφάλαιο 6: Τεχνοοικονομική μελέτη

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται και αναλύεται λεπτομερώς το τεχνοοικονομικό μέρος της παρούσας εργασίας. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τα οικονομικά στοιχεία των μορφών ενέργειας, ο τρόπος χρηματοδότησης αυτών, οι οικονομικές εισφορές καθώς επίσης και οι οικονομικοί δείκτες αποδοτικότητας. Τέλος γίνεται αποτίμηση των αποτελεσμάτων, καθώς και σύγκριση αυτών μεταξύ τους.

- Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα

Στην ενότητα αυτή, η οποία είναι και η τελευταία, συνοψίζονται τα κύρια σημεία της διπλωματικής εργασίας και παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της ανάλυσης τα οποία είναι και τα τελικά. Τέλος, αναφέρονται μετά από την αξιολόγηση που προηγήθηκε οι προοπτικές υλοποίησης και προώθησης της πυρηνικής ενέργειας ως μέσο ηλεκτροπαραγωγής στον Ελλαδικό χώρο.

Κεφάλαιο 2. Μορφές ενέργειας

2.1 Ορυκτά καύσιμα

Τα ορυκτά καύσιμα, όπως το κάρβουνο, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, είναι καύσιμα που προέρχονται από φυσικές πηγές, όπως για παράδειγμα η αναερόβια αποσύνθεση νεκρών θαμμένων οργανισμών. Η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα αργή, καθώς απαιτούνται από μερικά εκατομμύρια μέχρι και 650 εκατομμύρια χρόνια από την εναπόθεσή των οργανισμών για τη δημιουργούν των καυσίμων.

Πιο συγκεκριμένα, ο σχηματισμός τους πραγματοποιείται κατά την αναερόβια αποσύνθεση των οργανισμών που εναποτίθενται στο έδαφος, στον βυθό της θάλασσας ή των λιμνών. Υπάρχουν γεωλογικές περιόδους που η οργανική ύλη αναμίχθηκε με λάσπη και ως αποτέλεσμα αυτού ήταν ο σχηματισμός ενός παχέος στρώματος ιζήματος. Η περαιτέρω εξέλιξη του στρώματος αυτού εξαρτάται από τις επικρατούσες συνθήκες. Σε συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας το στρώμα αυτό μπορεί να υποστεί χημικές μεταβολές και να μετατραπεί σε ένα κηρώδες υλικό γνωστό ως κηροζίνη. Αν τυχόν η θερμοκρασία είναι υψηλότερη από την ιδανική τότε μετατρέπεται σε μείγμα υγρών ή αέριων υδρογονανθράκων οπότε και μιλάμε για την διαδικασία της καταγένεσης.

Η σύνθεση των ορυκτών καυσίμων μπορεί να είναι αέρια όπως το μεθάνιο ή ακόμα και σκληρά στερεά σώματα όπως ο ανθρακίτης. Αυτά σχηματίζονται από αποθέσεις νεκρών θαλάσσιων οργανισμών, ζώων ή φυτών της ξηράς μετά από έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις στο εσωτερικό της γης για εκατομμύρια χρόνια. Η διεργασία αυτή περιγράφεται από την βιογενετική θεωρία που πρώτο-διατυπώθηκε από τον Γεώργιο Αγκρίκολα το 1556 και αργότερα από τον Μιχαήλ Λομονόσοφ τον 18ο αιώνα.

Υπάρχει ένα μείγμα υδρογονανθράκων το οποίο μπορεί να συναντήσει κανείς στα ορυκτά καύσιμα. Ως επί το πλείστον, κάθε μείγμα διαθέτει κάποιες χαρακτηριστικές ιδιότητες όπως σημείο τήξης, πυκνότητα, σημείο βρασμού, και ιξώδες. Ορισμένα καύσιμα περιλαμβάνουν μόνο αέριους υδρογονάνθρακες με χαμηλό σημείο βρασμού ένα από αυτά είναι και το φυσικό αέριο ενώ άλλα όπως το ντίζελ αποτελούνται από υδρογονάνθρακες με υψηλότερα σημεία βρασμού.

Αναλύσεις για το έτος 2007 σχετικά με την κατανάλωση καυσίμων ορυκτής προέλευσης ανέρχονται σε ποσοστά 36% για το πετρέλαιο, 27,4% για το κάρβουνο και 23% για το φυσικό αέριο καλύπτοντας συνολικά το 86% των ενεργειακών αναγκών παγκοσμίως [50]. Από τις υπόλοιπες, το 6,3% προέρχεται από την υδροηλεκτρική το 8,5% προέρχεται από

την πυρηνική και το υπόλοιπο 0,9% από τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές όπως είναι η γεωθερμία, η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια, η ενέργεια από την παλίρροια ή τα κύματα και ενέργεια από τα απορρίμματα.

Τα ορυκτά καύσιμα δεν έχουν καμία σχέση με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας διότι χρειάζονται εκατομμύρια χρόνια για να σχηματιστούν και έτσι εξαντλούνται με πολύ γοργό ρυθμό σε σχέση με τον ρυθμό τον οποίο σχηματίζονται. Επίσης η κατανάλωσή τους συμβάλλει στο περιβαλλοντικό πρόβλημα για αυτό τα τελευταία χρόνια αναπτύσσονται όλο και περισσότερο οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας.

Αποτέλεσμα της χρήσης αυτής είναι η παραγωγή 21,3 εκατομμυρίων τόνων διοξείδιο του άνθρακα σε ετήσια βάση. Από την ποσότητα αυτή, το 50% απορροφάτε από τη γήινη βιόσφαιρα, ενώ η υπόλοιπη παραμένει στην ατμόσφαιρα. Το διοξείδιο του άνθρακα κατατάσσεται στα αέρια του θερμοκηπίου άρα, ως ένα βαθμό, είναι υπεύθυνο για την ύπαρξη και ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

2.1.1 Γαιάνθρακας

Ο γαιάνθρακας πρόκειται για ένα σκληρό, μαύρο και πετρώδες υλικό. Πιο συγκεκριμένα τα βασικά του συστατικά είναι ο άνθρακας, το οξυγόνο, το άζωτο, το υδρογόνο, και το θείο. Πιο συγκεκριμένα ο γαιάνθρακας χωρίζεται σε ανθρακίτης, λιθάνθρακας και λιγνίτης ανάλογα με το ποσοστό νερού-άνθρακα που περιέχουν. Ο ανθρακίτης πρόκειται για κοίτασμα με τη μεγαλύτερη σκληρότητα και το μεγαλύτερο ποσοστό άνθρακα, γεγονός που το καθιστά πρώτο όσο αφορά τη θερμογόνο δύναμη. Στον αντίποδα, ο λιγνίτης αποτελεί το μαλακότερο και με τη χαμηλότερη περιεκτικότητα άνθρακα ενώ συγχρόνως κατέχει υψηλά ποσοστά υγρασίας. Ο λιθάνθρακας είναι κάπου στην μέση. Στις μέρες μας στις περισσότερες χώρες καθώς επίσης και στην Ελλάδα, υπάρχουν κοιτάσματα τύρφης. Πρόκειται για ένα ορυκτό του οποίου ο σχηματισμός προηγείται των γαιανθράκων. Ο γαιάνθρακας με την διαδικασία της καύσης στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς συντελεί στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

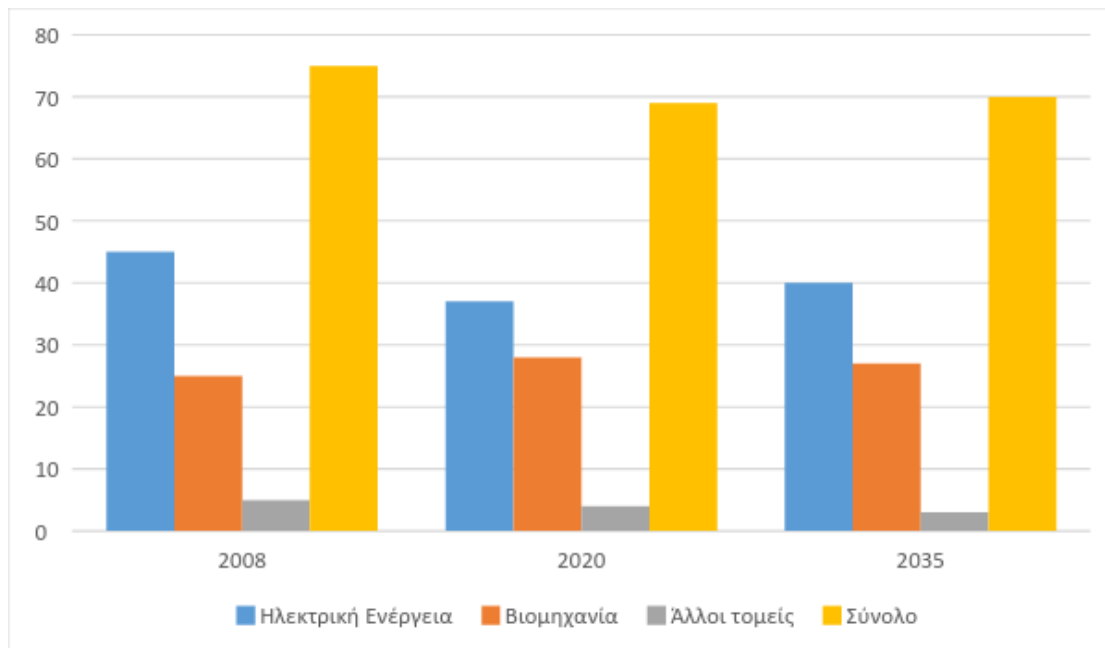
Στον Πίνακα 2.1 διακρίνεται η τυπική σύσταση και η θερμογόνος δύναμη του κάθε συστατικού. Να αναφερθεί πως οι τιμές που παρουσιάζονται είναι ενδεικτικές. Οι πραγματικές διαφέρουν ανάλογα το κοίτασμα, την περιοχή και την περιεκτικότητα των βασικών συστατικών.

Πίνακας 2.1 : Ποσοστιαία κατά βάρος περιεκτικότητα βασικών κοιτασμάτων και η θερμογόνος δύναμη τους [1].

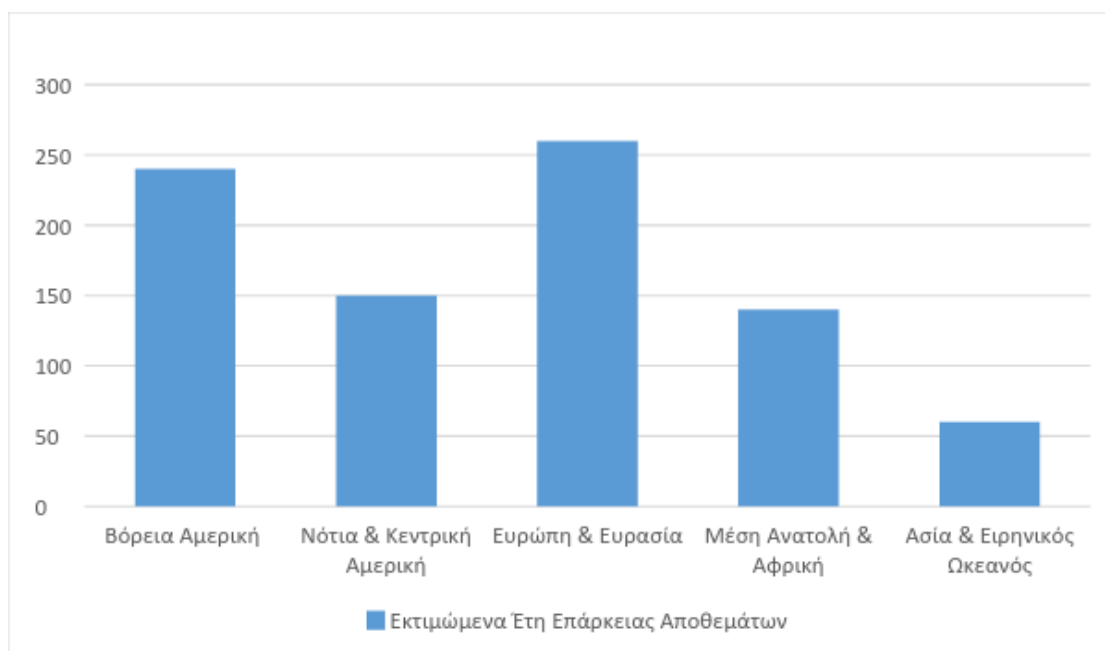
| | Βασικά συστατικά κοιτάσματος (%) | | | | | Θερμογόνος δύναμη (MJ/Kg) |
|-------------|----------------------------------|---|-----|-----|------------------|---------------------------|
| | C | H | N | S | H ₂ O | |
| Ανθρακίτης | 85 | 3 | 1,2 | 0,8 | 10 | 33,63-34,3 |
| Λιθάνθρακας | 81 | 4 | 1,5 | 0,7 | 12,8 | 31,4-32,0 |
| Λιγνίτης | 62 | 5 | 1,5 | 2,5 | 29 | 19,7-20,7 |
| Τύρφη | 30 | 8 | 0,5 | 1,5 | 60 | 15,7-16,9 |

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται στο μεγαλύτερο ποσοστό της στον γαιάνθρακα το 2008 το ποσοστό αυτό άγγιξε περίπου το 43% της συνολικής ενέργειας. Οι εκτιμήσεις των ειδικών λένε ότι το ποσοστό αυτό θα μειωθεί στο 37% μέχρι το 2020 κυρίως λόγω της ολοένα αυξανόμενης χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς επίσης άλλων πηγών οι οποίες συμβάλλουν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, Να επισημανθεί πως μετά το 2020, το ποσοστό εκμετάλλευσης του γαιάνθρακα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αναμένεται να παραμείνει σταθερό. Τέλος να επισημανθεί πως τα γεωλογικά αποθέματα γαιάνθρακα εκτιμάται ότι επαρκούν για τα επόμενα 118 χρόνια περίπου, σύμφωνα πάντα με τον υφιστάμενο ρυθμό κατανάλωσης [2, 3].

Στο Σχήμα 2.1 διακρίνεται η εξέλιξη της χρήσης του γαιάνθρακα στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής της βιομηχανίας και των υπολοίπων, καθώς επίσης και εκτιμήσεις για το μέλλον. Στο επόμενο Σχήμα 2.2 έχουν τοποθετηθεί τα έτη για τα οποία εκτιμάται ότι επαρκούν τα υπάρχον γεωλογικά αποθέματα γαιάνθρακα.



Σχήμα 2.1: Παγκόσμια ενεργειακή παραγωγή από την χρήση γαιάνθρακα ανά τομέα [2].



Σχήμα 2.2: Εκτιμώμενα έτη επάρκειας για τα αποθέματα γαιάνθρακα ανά περιοχή [3].

2.1.2 Πετρέλαιο

Το πετρέλαιο ξεκίνησε να δημιουργείται εκατομμύρια χρόνια πριν, εποχές που το

μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη καλυπτόταν από θάλασσα. Τα απομεινάρια των διαφόρων οργανισμών που ζούσαν σε αυτές αναμίχθηκαν με τη λάσπη, τις πέτρες κλπ. των ποτάμιών, δημιουργώντας με το καιρό στρώματα πάχους εκατοντάδων μέτρων στο βυθό. Οι πολλές γεωφυσικές ανακατατάξεις που λάμβαναν χώρα στο βυθό οδήγησαν την παγίδευση της οργανικής ύλης σε πορώδη στρώματα η οποία με την σειρά της υπό την επίδραση των πιέσεων καθώς επίσης και μεγάλων θερμοκρασιών, δημιουργούσαν τους υγρούς υδρογονάνθρακες, δηλαδή το πετρέλαιο. Εν κατακλείδι να αναφερθεί πως οι σχηματισμοί στους οποίους βρίσκεται πετρέλαιο είναι παλιότεροι του άνθρακα και είναι ισόποσα κατανομημένοι σε όλες τις περιοχές της Γης και πιο συγκεκριμένα στις ηπειρωτικές περιοχές που κάποτε ήταν ωκεανοί. Η ιστορία δείχνει πως η πρώτη συστηματική εκμετάλλευση που πραγματοποιήθηκε στα κοιτάσματα πετρελαίου έγινε το 1859 στην Πενσυλβανία των ΗΠΑ. Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για ένα μείγμα το οποίο εξορύσσετε ως αργό πετρέλαιο και στην συνέχεια μεταφέρεται σε διυλιστήρια για την παραγωγή πολλαπλών προϊόντων όπως είναι το βουτάνιο, το υγραέριο, το προπάνιο, οι βενζίνες, τα καύσιμα αεροπορίας, το πετρέλαιο εσωτερικής καύσης δηλαδή το ντίζελ και εξωτερικής καύσης (μαζούτ). Για την ηλεκτροπαραγωγή χρησιμοποιούνται μονάχα το ντίζελ και το μαζούτ. Το ντίζελ λειτουργεί σε αεριοστροβιλικούς σταθμούς και σε μηχανές εσωτερικής καύσης ενώ το μαζούτ σε ατμοηλεκτρικούς σταθμούς.

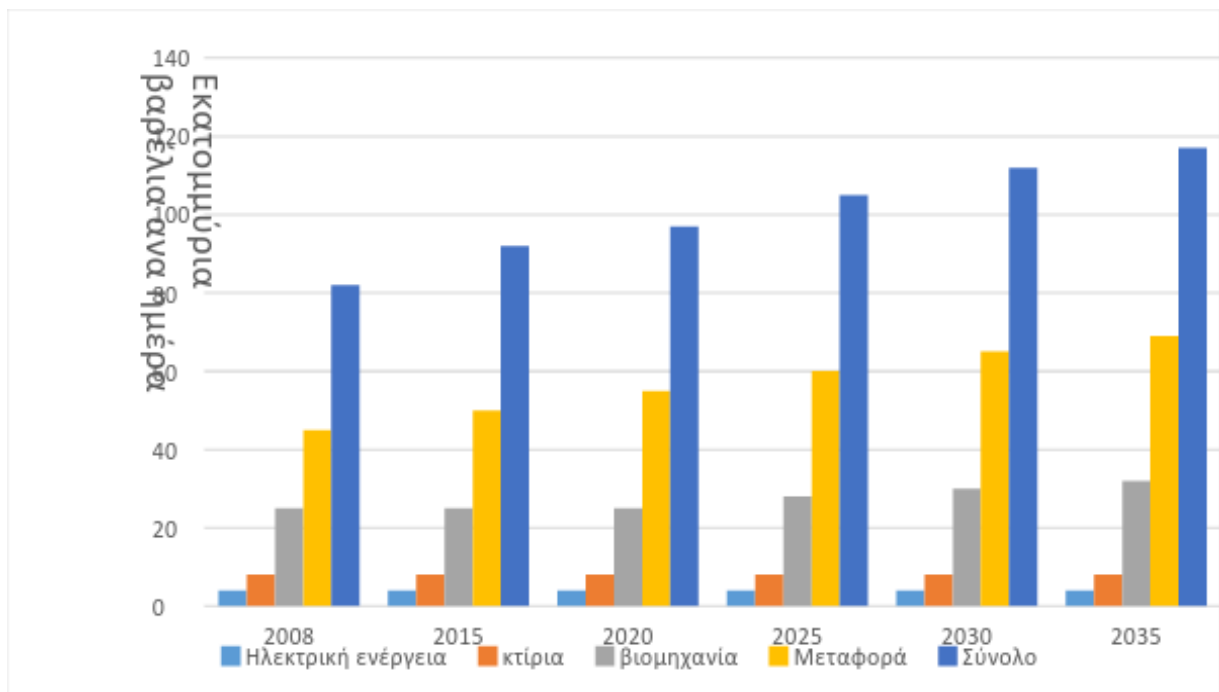
Στον Πίνακα 2.2 διακρίνονται τα προϊόντα του πετρελαίου και τυπικές τιμές για την ανώτερη θερμογόνο δύναμή τους, από εργαστηριακή μελέτη.

Πίνακας 2.2: Θερμογόνος δύναμη κυριότερων προϊόντων πετρελαίου [4].

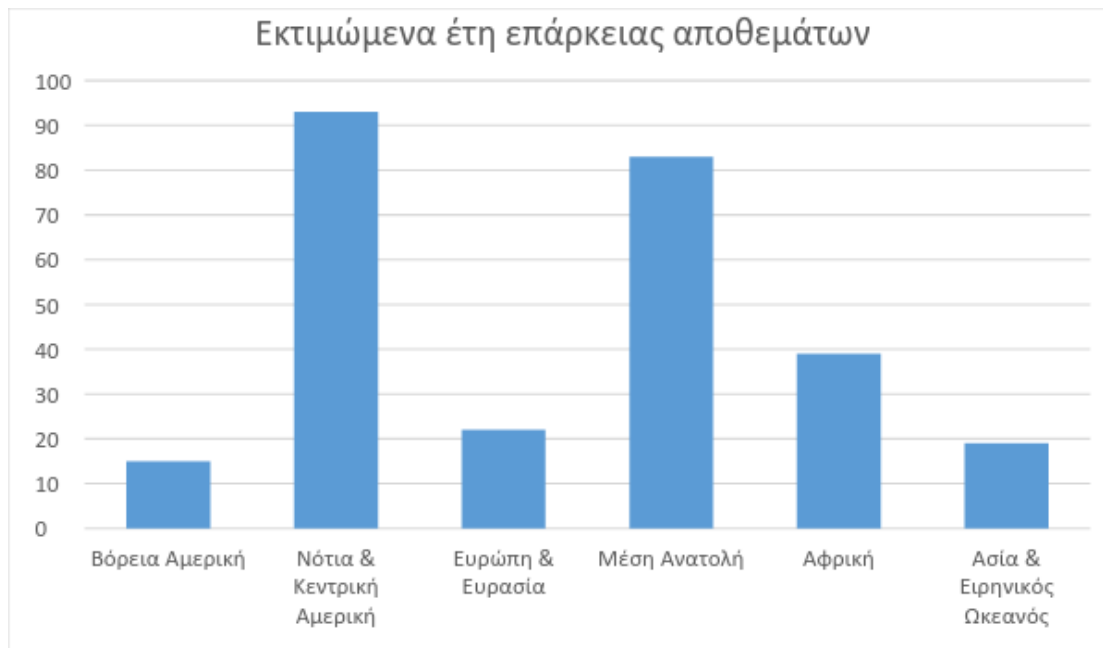
| Προϊόντα πετρελαίου | Θερμογόνος δύναμη MJ/Kg |
|---------------------|-------------------------|
| Προπάνιο | 50.340 |
| Βουτάνιο | 49.500 |
| Βενζίνη | 46.050 |
| Ελαφρύ πετρέλαιο | 44.380 |
| Βαρύ πετρέλαιο | 43.120 |

Το πετρέλαιο βρίσκεται στο επίκεντρο οικονομικών και πολιτικών δραστηριοτήτων πολλών κρατών καθώς έχει αναδειχθεί στην βασικότερη πηγή ενέργειας παγκοσμίως. Όσο αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας διακρίνεται μια τάση μείωσης της χρήσης του, γεγονός το οποίο οφείλεται και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η

Μέση Ανατολή χώρες πλούσιες σε πετρελαϊκά αποθέματα, όπου γίνονται οι ύστατες προσπάθειες για την λιγότερη δυνατή χρήση στην ηλεκτροπαραγωγή, με απώτερο σκοπό όμως την αύξηση των εξαγωγών για την αύξηση των εσόδων τους. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις των ειδικών, η παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση πετρελαίου θα παρουσίαση αισθητή ποσοστιαία μείωση. Συγχρόνως, εκτιμάται ότι τα υπάρχοντα πετρελαϊκά αποθέματα επαρκούν περίπου για 46 χρόνια ακόμα [2],[3]. Στο επόμενο Σχήμα 2.3 αναγράφεται η ποσότητα των βαρελιών πετρελαίου που καταναλώνονται ανά ημέρα σε κάθε ενεργειακό τομέα καθώς και οι εκτιμήσεις μέχρι το 2035. Ακόμη, στο Σχήμα 2.4 διακρίνονται και τα έτη των εκτιμήσεων για τα υπάρχοντα αποθέματα πετρελαίου.



Σχήμα 2.3: Ποσότητα κατανάλωσης πετρελαίου για κάθε μέρα σε κάθε ενεργειακό τομέα [2]



Σχήμα 2.4: Εκτιμώμενα έτη επάρκειας αποθεμάτων πετρελαίου ανά γεωγραφικό διαμέρισμα [3]

2.1.3 Φυσικό αέριο

Η αποσύνθεση οργανικών ουσιών, διαδικασία η οποία πρωτοξεκίνησε εκατομμύρια χρόνια πριν στο εσωτερικό της Γης, το οποίο το συναντάει κανείς είτε ξηρό είτε αναμειγμένο με πετρέλαιο αποτελεί το φυσικό αέριο. Η ύπαρξη φυσικού αερίου πρώτη φορά έχει καταγραφεί με επίσημα στοιχεία πάντα στο σημερινό Ιράν, πολύ πιο πριν από ότι μπορεί να φανταστεί ο οποιασδήποτε, μεταξύ το 6.000 π.Χ. και το 2.000 π.Χ.. Οι Κινέζοι το 900 π.Χ. είναι οι πρώτοι που έκαναν χρήση φυσικού αερίου σύμφωνα πάντα με τις αναφορές των μελετητών που υπάρχουν. Η μεταφορά του γινόταν με αγωγούς από μπαμπού. Στην Ευρώπη ανακαλύφθηκε το 1659 στην Αγγλία μέχρι τότε αυτά τα επιτεύγματα ήταν άγνωστα και το φυσικό αέριο σαν να μην υπήρχε. Η διαδικασία εξόρυξης ακολουθεί αυτή του πετρελαίου με χερσαίες ή υποθαλάσσιες γεωτρήσεις για αυτό και παλαιότερα η εύρεση κοιτασμάτων φυσικού αερίου χωρίς πετρέλαιο ήταν αποτυχία. Ως επί τον πλείστον το φυσικό αέριο που παράγονταν στις χώρες του Οργανισμού Πετρελαιοπαραγωγών Κρατών (ΟΠΕΚ) πριν από μερικές δεκαετίες απλά καιγόταν στον μέρος εξόρυξής του. Ο λόγος που πραγματοποιούνταν αυτή η διαδικασία ήταν το αυξημένο κόστος μεταφοράς από το χώρο παραγωγής στο χώρο κατανάλωσης πράγμα που τις περισσότερες φορές είναι υψηλότερο από αυτό του πετρελαίου σε φυσιολογικές συνθήκες μεταφέρεται εύκολα καθώς είναι σε υγρή μορφή. Πιο συγκεκριμένα το φυσικό αέριο αποτελείται από το μεθάνιο, ωστόσο υπάρχουν και σημαντικές ποσότητες προπανίου, βουτανίου, αιθανίου, ακόμα

συνυπάρχουν και διοξείδιο του άνθρακα, άζωτο, ήλιο και υδρόθειο. Το φυσικό αέριο το οποίο αποκαλείται και ξηρό φυσικό αέριο διότι εκτός από το μεθάνιο είναι απαλλαγμένο από υδρογονάνθρακες. Στον αντίποδα, το φυσικό αέριο που εμπεριέχει και άλλους υδρογονάνθρακες πέραν του μεθανίου, αποκαλείται και υγρό φυσικό αέριο. Τέλος και πιο συγκεκριμένα το φυσικό αέριο είναι άοσμο και άχρωμο ενώ του προθέεται οσμή για να γίνεται πιο εύκολα αντιληπτό σε περίπτωση διαρροής. Στον παρακάτω Πίνακα 2.3 φαίνεται η τυπική χημική σύσταση του φυσικού αερίου.

Πίνακας 2.3: Ποσοστιαία περιεκτικότητα χημικών συστατικών φυσικού αερίου [5].

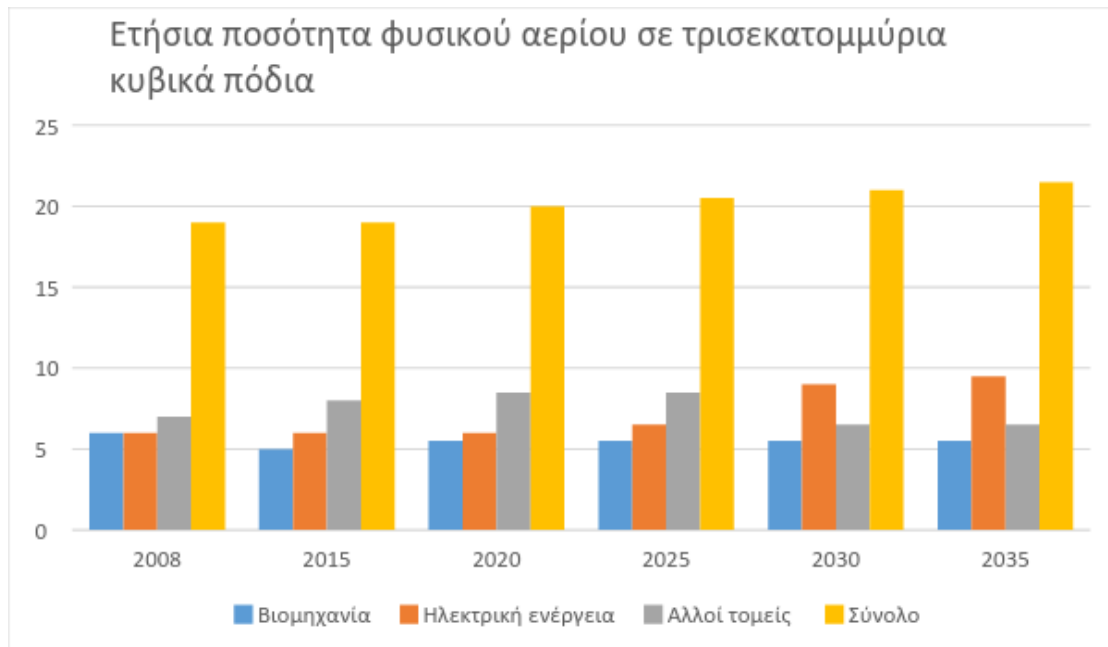
| Συστατικά | % κατά όγκο σύσταση |
|---|----------------------|
| Μεθάνιο (CH ₄) | 70-90 |
| Αιθάνιο (C ₂ H ₆) | 5-15 |
| Προπάνιο(C ₃ H ₈) και Βουτάνιο (C ₄ H ₁₀) | <5 |
| CO ₂ , N ₂ , H ₂ S κτλ. | μικρότερες ποσότητες |

Τα τελευταία χρόνια στον κύκλο των ορυκτών καυσίμων η χρήση του φυσικού αερίου αυξάνεται με γοργούς ρυθμούς. Η κατανάλωσή του αυξάνεται σε όλα τα μήκη και πλάτη της Γης με τα σημαντικότερα ποσοστά αύξησης της παραγωγής να εμφανίζουν οι χώρες που δεν ανήκουν στον *Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης*. Το φυσικό αέριο είναι ένα από τα βασικότερα καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς επίσης και για βιομηχανικούς σκοπούς. Διακρίνεται για τις χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα καθώς και για την χαμηλή τιμή πάντα συγκριτικά με το πετρέλαιο παράγοντες που το καθιστούν ελκυστική επιλογή ειδικά σε χώρες που ακολουθούν πολιτικές μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου. Επίσης και πιο συγκεκριμένα, έχει σχετικά μικρό κόστος και αρκετά αποδοτικότητα πολύ υψηλή. Ακόμα η ανακάλυψη νέων και μεγαλύτερων κοιτασμάτων φυσικού αερίου έδωσε ώθηση και μια νέα διάσταση όσο αφορά την επάρκειά του παγκοσμίως. Η χρήση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, γίνεται για αεριοστροβιλικούς σταθμούς. Εν τέλει, η περισσότεροι σταθμοί που κατασκευάζονται πλέον για χρήση φυσικού αερίου αποτελούν σταθμούς συνδυασμένου κύκλου αεριοστρόβιλου και ατμοστρόβιλου. Τέλος να αναφερθείς πως από επίσημες εκτιμήσεις τα υπάρχοντα γεωλογικά αποθέματα φυσικού αερίου επαρκούν για περίπου 59 έτη σε παγκόσμια κλίμακα [2],[3].

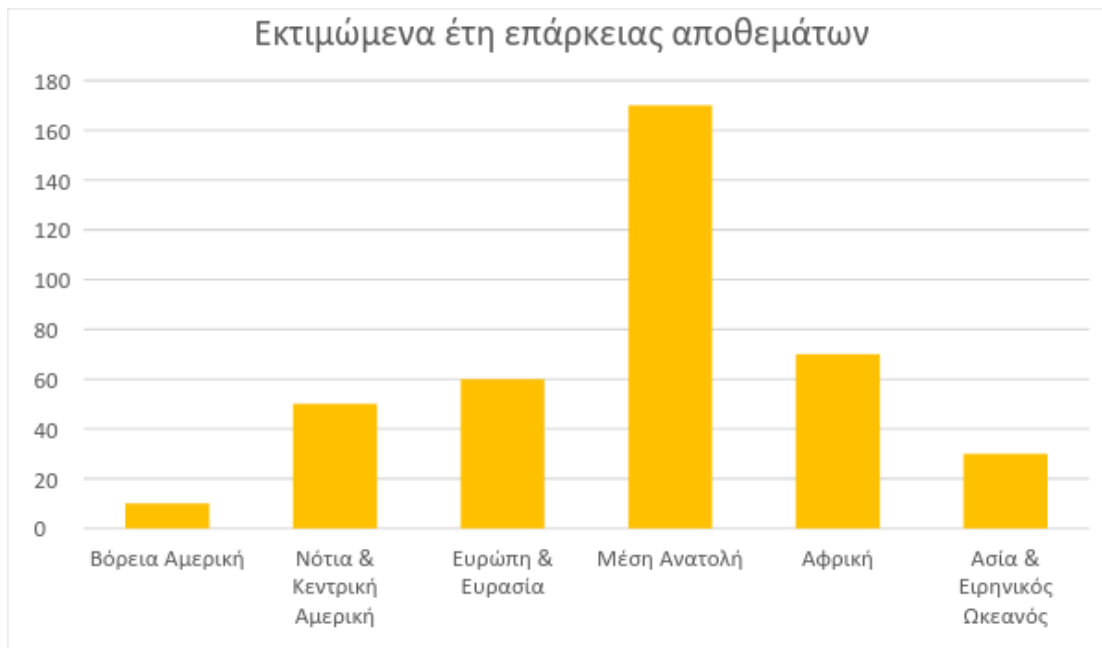
Στο Σχήμα 2.5 διακρίνεται η ετήσια κατανάλωση φυσικού αερίου που, στις ευρωπαϊκές

χώρες του ΟΟΣΑ και πως αυτή θα εξελιχθεί μέχρι το 2035 χωρισμένη ανά ενεργειακό τομέα.

Ακολούθως, στο Σχήμα 2.6 αναγράφονται τα έτη για τα οποία αναμένεται να επαρκούν τα βεβαιωμένα αποθέματα φυσικού αερίου σε κάθε γεωγραφικό διαμέρισμα.



Σχήμα 2.5: Ετήσια κατανάλωση φυσικού αερίου σε τρισεκατομμύρια κυβικά πόδια σε ευρωπαϊκές χώρες του ΟΟΣΑ [2].



Σχήμα 2.6: Εκτιμώμενα έτη επάρκειας αποθεμάτων φυσικού αερίου ανά γεωγραφικό διαμέρισμα [3].

2.1.4 Ουράνιο

Το φυσικό ουράνιο πρόκειται για ορυκτό το οποίο το συναντάει κανείς στη φύση σε πυριγενή πετρώματα και πιο συγκεκριμένα στο γρανίτη. Η χρήση του γίνεται στους πυρηνικούς σταθμούς για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το ουράνιο κατατάσσεται στα καύσιμα, δηλαδή παραγωγή ενέργειας μέσω της καύσης, στην πραγματικότητα όμως η παραγωγή ενέργειας από αυτό γίνεται χωρίς καύση. «Με τον όρο πυρηνική ενέργεια, αναφερόμαστε στην ενέργεια που απελευθερώνεται όταν μετασχηματίζονται ατομικοί πυρήνες. Πρόκειται δηλαδή για τη δυναμική ενέργεια που περικλείεται στους πυρήνες των ατόμων λόγω της αλληλεπίδρασης μεταξύ των σωματιδίων που τους συνιστούν.» Αποτέλεσμα της σχάσης των πυρήνων είναι η απελευθέρωση ενέργειας πάντα με την προϋπόθεση πως αυτές είναι ελεγχόμενες ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς κατά την διάρκεια της πυρηνικής σχάσης, ένας ασταθής ατομικός πυρήνας χωρίζεται, με άλλα λόγια σχάται σε δύο ή περισσότερους μικρότερους πυρήνες καθώς επίσης και σε μερικά παραπροϊόντα σωματίδια μερικά από αυτά είναι τα νετρόνια. Πιο συγκεκριμένα η σχάση αποτελεί μια αντίδραση μεταστοιχείωσης, στην πράξη μια μετατροπής δηλαδή ενός χημικού στοιχείου σε κάποιο άλλο, κατά την διάρκεια της οποίας αναπτύσσονται δύο θραύσματα όμοιων μαζών. Στην περίπτωση που μεταβληθεί ο

ατομικός αριθμός κατά την μεταβολή των αριθμών των πρωτονίων ενός στοιχείου του πυρήνα τότε και μόνο τότε υπάρχει μεταστοιχείωση. Η σχάση αποτελεί εξώθερμη αντίδραση και αποδίδει στο περιβάλλον ενέργεια πάντα με τη μορφή ακτινοβολίας γ καθώς επίσης και ως κινητική ενέργεια των θραυσμάτων στα βαρύτερα στοιχεία. Στην διάρκεια μιας πυρηνικής σχάσης, ο πυρήνας ενός ατόμου ουρανίου ^{235}U , βομβαρδίζεται από θερμικά νετρόνια και στην συνέχεια συντίθεται ένας πυρήνας ατόμου ^{236}U σε διεγερμένη κατάσταση. Κατά τη πυρηνική σχάση στα παραπροϊόντα υπάρχουν και νετρόνια τα οποία έχουν την δυνατότητα να προκαλέσουν περαιτέρω σχάσεις δημιουργώντας έτσι μια συντηρούμενη αλυσιδωτή αντίδραση.

Τα πυρηνικά αυτά καύσιμα δημιουργούνται με διάφορες χημικές διεργασίες από το φυσικό ουράνιο. Στο παρακάτω Σχήμα 2.7 διακρίνεται χρήση της πυρηνικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως και η αναμενόμενη εξέλιξή της μέχρι το 2035. Τα στοιχεία που αναγράφονται στο παρακάτω σχήμα προκύπτουν από την U.S. Energy Information Administration και κατά το χρονικό διάστημα της προετοιμασίας της συνέβη το ατύχημα στην Φουκουσίμα της Ιαπωνίας. Καθώς εμφανίστηκε τσουνάμι και συγχρόνως προκλήθηκαν μεγάλης έκτασης βλάβες στο πυρηνικό εργοστάσιο της. Η έκταση των ζημιών λόγω της φυσικής καταστροφής δεν έχει αποτιμηθεί πλήρως ακόμα και σήμερα. Επίσης οι μεγάλες ποσότητες ραδιενέργειας που απελευθερώθηκαν στο περιβάλλον είχαν καταστροφικές συνέπειες τόσο για τους ανθρώπους της γύρω περιοχής όσο και για το φυσικό περιβάλλον. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την δεισδυση της πυρηνικής τεχνολογίας στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να κυμανθεί σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτά των εκτιμήσεων τα οποία παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα [2].



Σχήμα 2.7: Εξέλιξη της παραγόμενης ενέργειας από πυρηνικά παγκοσμίως [2].

Στον ελλαδικό χώρο δεν υπάρχουν πυρηνικοί σταθμοί και ούτε συζητιέται ή σχεδιάζεται να κατασκευαστεί στο άμεσο μέλλον. Ένας από τους παράγοντες που συντελεί αρνητικά στη διεύθυνση της πυρηνικής τεχνολογίας στον εγχώριο ενεργειακό χάρτη είναι η έντονη σεισμικότητα της χώρας μας.

2.2 Ανανεώσιμες πηγές Ενέργειας

Ως τώρα έχει γίνει αναφορά σε πηγές ενέργειας οι οποίες αφορούν ορυκτά καύσιμα τα οποία υπάρχουν χιλιάδες χρόνια μέσα στο υπέδαφος. Οι ποσότητες καυσίμων που έχουν απομείνει, όπως είναι φυσικό κάποια στιγμή θα εξαντληθούν. Επίσης, με την καύση των ορυκτών καυσίμων παράγονται ρυπογόνα αέρια για το περιβάλλον. Ενώ σε ότι αφορά το φυσικό ουράνιο, παράγονται ραδιενεργά απόβλητα τα οποία παραμένουν για πολλά χρόνια σε δράση με βλαβερές συνέπειες. Αποτέλεσμα των προαναφερθέντων, η επιτακτική ανάγκη παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές οι οποίες θα είναι και φιλικές προς το περιβάλλον.

Παρότι έχει διαπιστωθεί ότι οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας εκμεταλλεύονταν από τα πρώτα χρόνια της ανθρωπότητας, αυτές άρχισαν να έχουν πρωταγωνιστικό ρόλο στην ατζέντα σημαντικών συζητήσεων στις αρχές του '70 αυτό είχε ως συνέπεια να γίνουν ευρέως γνωστές στα κέντρα αποφάσεων. Η ενεργειακή κρίση εκείνης της περιόδου, στάθηκε η αφορμή που ώθησε αρκετά κράτη να αναζητήσουν δίοδο διαφυγής και απεξάρτησης της οικονομίας τους από τις συμβατικές μορφές ενέργειας αναγνωρίζοντας μια σειρά άλλων πλεονεκτημάτων που μόνο οι ΑΠΕ μπορούσαν να προσφέρουν. Γρήγορα όμως ο αρχικός ενθουσιασμός κόπησε εξαιτίας της επιστροφής των χαμηλών τιμών του πετρελαίου και απετράπη η ανάπτυξη της «πράσινης ενέργειας».

Από τη δεκαετία του '90 καθώς άρχισαν να γίνονται γνωστά τα δυσάρεστα αποτελέσματα της χρήσης των συμβατικών μορφών ενέργειας στο περιβάλλον άρχισε και πάλι να εντείνεται το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των ΑΠΕ. Έτσι τα τελευταία χρόνια, αυξάνεται συνεχώς η ευαισθητοποίηση των ανθρώπων ως προς την περιβαλλοντική ευθύνη, οι κυβερνήσεις ακολουθούν κοινή γραμμή και λαμβάνοντας από κοινού μέτρα για τη βιώσιμη ανάπτυξη, οι επιχειρήσεις συμμορφώνονται στους νόμους των χωρών και αναπτύσσουν από την πλευρά τους προγράμματα εταιρικής κοινωνικής ευθύνης δίνοντας λύση στο πρόβλημα με τελικό κερδισμένο τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας που κερδίζουν όλο και μεγαλύτερο κομμάτι της πίτας.

Η χρήση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας μπορεί να αποφέρει μια σειρά από πλεονεκτήματα τα οποία με την σειρά τους μπορούν να συμβάλλουν στην αποτροπή της κλιματικής αλλαγής και τη δημιουργία βάσεων για τη βιώσιμη ανάπτυξη. Τις τελευταίες δεκαετίες ολοένα και αυξάνονται οι αναφορές των ειδικών στη μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και ειδικότερα σε μεταβολές μετεωρολογικών συνθηκών μεγάλων χρονικών περιόδων. Τα φαινόμενα αυτά περιγράφονται από τον όρο «κλιματική αλλαγή». Οι κλιματικές αλλαγές οφείλονται σε φυσικά αίτια και διαδικασίες, καθώς και σε ανθρώπινες δραστηριότητες με επιπτώσεις στο κλίμα, όπως η τροποποίηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας.

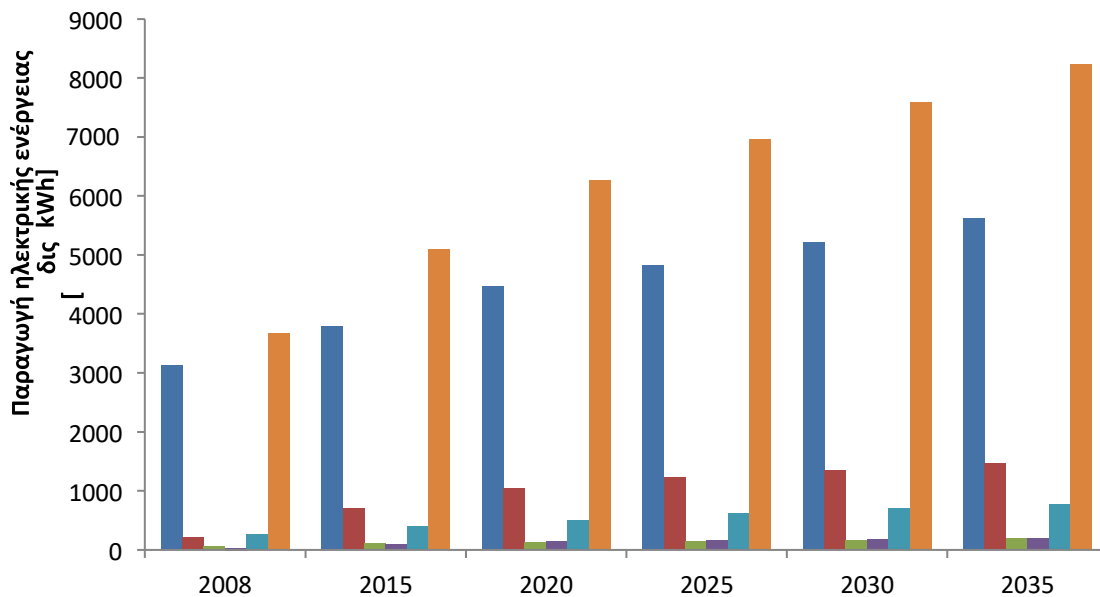
Ωστόσο, οι απόψεις δίστανται καθώς υπάρχει αριθμός επιστημόνων που διαφωνούν με αυτή τη θέση, αμφισβητώντας πως η ανθρώπινη δραστηριότητα επιδρά αρνητικά στις παγκόσμιες κλιματικές μεταβολές.

Σήμερα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται στις εξής ανανεώσιμες πηγές:

- Ηλιακή ενέργεια
- Αιολική ενέργεια
- Υδροηλεκτρική ενέργεια
- Ενέργεια από βιομάζα
- Ενέργεια από γεωθερμία
- Θαλάσσια και κυματική ενέργεια

Στο παρακάτω σχήμα 2.8 διακρίνεται η αυξανόμενη μεταβολή της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την χρήση των ΑΠΕ καθώς επίσης και οι εκτιμήσεις του μέλλοντος.

- | | | |
|--------------------------|--------------------|-------------|
| ■ Υδροηλεκτρική Ενέργεια | ■ Αιολική Ενέργεια | ■ Γεωθερμία |
| ■ Ηλιακή Ενέργεια | ■ Βιομάζα | ■ Συνολικά |



Σχήμα 2.8: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. [2]

Όπως διακρίνεται από το παραπάνω σχήμα, η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές παρουσιάζει αυξητική τάση. Το μεγαλύτερο κομμάτι αυτής της πίτας προέρχεται από υδροηλεκτρικά και ακολουθούν ως δεύτερα τα αιολικά έργα. Τέλος η συμμετοχή των υπολοίπων αντιστοιχεί σε μικρότερο κομμάτι της παραγωγής ενέργειας από τις ΑΠΕ.

2.2.1 Αιολική ενέργεια

Η εκμετάλλευση του ανέμου από τον άνθρωπο για την παραγωγή ενέργειας ξεκίνησε από την αρχαιότητα. Αυτό γίνεται εύκολα κατανοητό καθώς η χρήση της αιολικής ενέργειας στα ιστιοφόρα και τους ανεμόμυλοι την συναντάμε σε πολλά ιστορικά βιβλία. Σήμερα, για την εκμετάλλευση του ανέμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούμε τις ανεμογεννήτριες (Α/Γ).

Πρόκειται για μηχανές οι οποίες με την χρήση του ανέμου μετατρέπουν την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική. Η μετατροπή αυτή λαμβάνει χώρα σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση, μέσω της πτερωτής, η κινητική ενέργεια του ανέμου με την χρήση του άξονα της πτερωτής καθώς αυτός περιστρέφεται μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια και στην δεύτερη φάση, διακρίνεται

η μετατροπή της της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική με την βοήθεια της γεννήτριας.

Πιο συγκεκριμένα οι ανεμογεννήτριες διακρίνονται σε οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα. Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα είναι αρκετά διαδεδομένες αλλά έχουν ανάγκη παρακολούθησης της κατεύθυνσης του ανέμου [18].

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα έχοντας την γεννήτρια χαμηλά θεωρούνται πιο πρακτικές και πιο ακριβές σε σχέση με τις Α/Γ οριζοντίου άξονα και λειτουργούν ανεξάρτητα της διεύθυνσης του ανέμου. Διακρίνονται σε μηχανές Savonius και Darrieus.

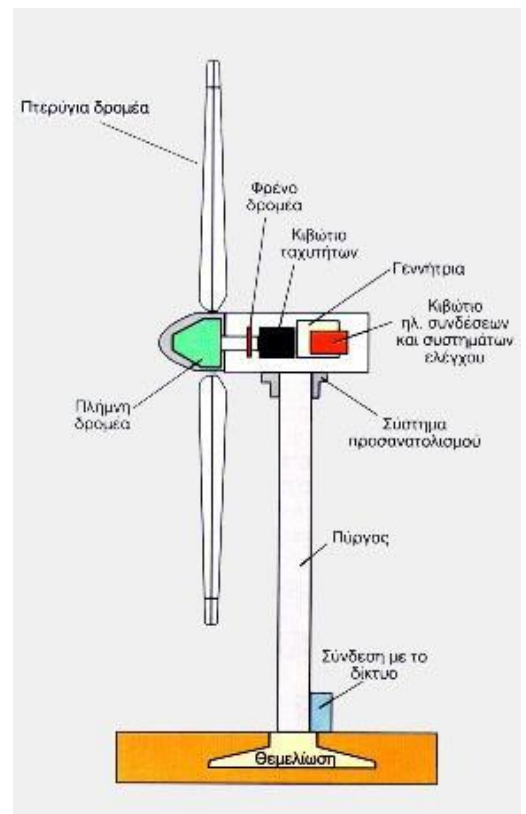
Η ταχύτητα του ανέμου καθώς και το μέγεθος της ανεμογεννήτριας αποτελούν τους βασικούς συντελεστές για την μέγιστη απόδοση. Οπότε γίνεται εύκολα αντιληπτό πως μια ανεμογεννήτρια μπορεί να παράγει μέχρι κάποια MW ανάλογα το μέγεθος της

Οι τυπικές διαστάσεις μιας ανεμογεννήτριας 500 kW είναι διάμετρος δρομέα 40 μέτρα και ύψος 40-50 μέτρα. Παρόλο που δεν υφίσταται κανένας καθοριστικός λόγος, εκτός ίσως από την εμφάνιση, στην αγορά έχουν επικρατήσει αποκλειστικά οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, με δύο ή τρία πτερύγια. [18]

Στο Σχήμα 2.9 απεικονίζεται ένα γενικό σύστημα Α/Γ Οριζόντιου Άξονα (ΑΓΟΑ). Μια εξίσου εναλλακτική σχεδίαση είναι η Α/Γ Κάθετου Άξονα (ΑΓΚΑ), που δεν είναι όμως τόσο συνήθης όσο η ΑΓΟΑ στα πρόσφατα έργα. Αν και δεν υφίσταται κάποια γενική μέθοδος για την ταξινόμηση των υποσυστημάτων των Α/Γ, οι συνιστώσες του σχήματος θα μπορούσαν να διαιρεθούν σε τέσσερα βασικά υποσυστήματα:

[1]. Τον δρομέα, συνήθως αποτελούμενο από δύο ή τρία πτερύγια, μια πλήμνη μέσω της οποίας συνδέονται τα πτερύγια με τον χαμηλής ποιότητας κινητήριο άξονα και, μερικές φορές, υδραυλικά ή μηχανικά οδηγούμενα συστήματα συνδέσεων για τη μεταβολή του βήματος του συνόλου ή μέρους των πτερυγίων [19].

[2]. Την άτρακτο, πρόκειται για έναν χώρο ο οποίος περιέχει των μετατροπέα στροφών και μία γεννήτρια. Επίσης στο εσωτερικό του υπάρχει το



Σχήμα 2.9: Σχηματική αναπαράσταση ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα [19]

σύστημα εκτροπής καθώς και το μηχανικό δισκόφρενο. Όλα τα παραπάνω περιβάλλονται από ένα κάλυμμα.

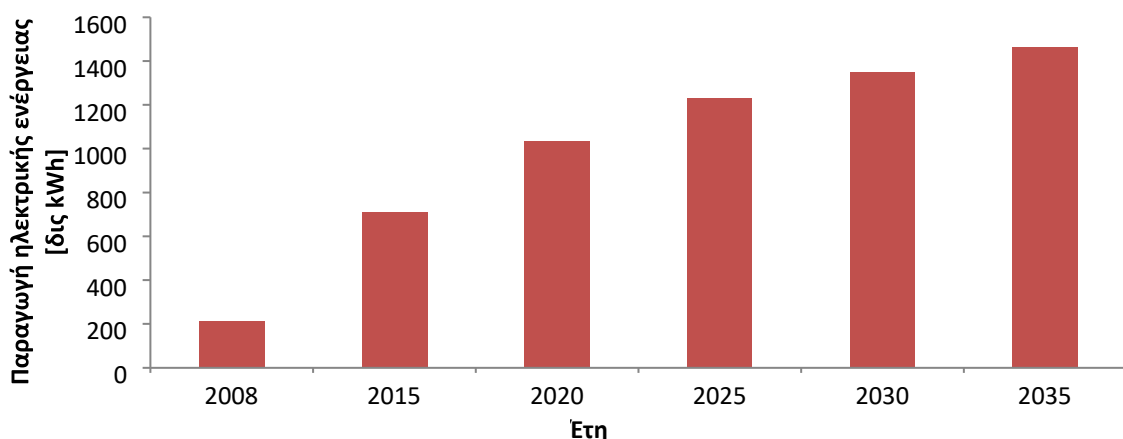
[3]. Την θεμελίωση και τον πύργο όπου και στηρίζονται το σύστημα μετάδοσης της κίνησης καθώς επίσης και ο δρομέας.

[4]. Το σύστημα ελέγχου και τα παρελκόμενα του.

Γενικά, περιοχές με μέση ετήσια ταχύτητα μεγαλύτερη από 10m/s θεωρούνται περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό. Για την εγκατάσταση αιολικών πάρκων επιλέγονται περιοχές με μέση ετήσια ταχύτητα μεγαλύτερη από 6m/s. Τα παραπάνω όρια είναι ενδεικτικά και μεταβάλλονται με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και τις συνθήκες της αγοράς. Δεδομένου ότι ο κύριος όγκος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα αφορά στην αιολική ενέργεια, αξίζει να επισημάνουμε ότι πρόκειται για μια τεχνολογικά ώριμη, οικονομικά ανταγωνιστική και φιλική προς το περιβάλλον ενεργειακή επιλογή [20].

Ο ελλαδικός χώρος είναι ένα μέρος το οποίο εκμεταλλεύεται σε μεγάλο βαθμό την αιολική ενέργεια, μια ενέργεια που είναι πρακτικά ανεξάντλητη. Η αιολική ενέργεια πρόκειται για μια πηγή ανεξάντλητη η οποία μπορεί να βοηθήσει και στο πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής. Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει εισχωρήσει και στον τομέα των ανεμογεννητριών. Αποτέλεσμα αυτού η αύξηση του βαθμού απόδοσης αυτών συμβάλλοντας για μια βιώσιμη ανάπτυξη.

Στο Σχήμα 2.10 διακρίνεται η παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την χρήση του ανέμου καθώς και οι εκτιμήσεις για το μέλλον.



Σχήμα 2.10: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικές εγκαταστάσεις παγκοσμίως [2].

2.2.2 Ηλιακή ενέργεια

Πρόκειται για την πρακτικά ανεξάντλητη ενέργεια που προέρχεται από τον Ήλιο και πιο συγκεκριμένα για το φως, την θερμότητα, την θερμική ενέργεια καθώς επίσης και την ενέργεια της ακτινοβολίας.

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας μπορεί να γίνει μέσω τριών βασικών κατηγοριών εφαρμογών: των ενεργητικών ηλιακών θερμικών συστημάτων, των παθητικών ηλιακών συστημάτων και των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Τα δυο πρώτα εκμεταλλεύονται την εκπομπή θερμότητας από την ηλιακή ακτινοβολία, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα [7].

Η τελευταία εφαρμογή (δηλαδή η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων), διευκολύνει τη πρόσβαση στο ηλεκτρικό ρεύμα περιοχών που είναι απομονωμένες και χαρακτηρίζονται από υψηλά ποσοστά ηλιοφάνειας. Ως εκ τούτου, ο ελλαδικός χώρος θεωρείται ένα από τα ιδανικότερα μέρη για την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων καθώς φημίζεται για τις ιδιαίτερα υψηλές δυναμικότητας ηλιακής ενέργειας.

Τα δεδομένα που χρειάζονται βασικά για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας είναι:

- Οι ώρες ηλιοφάνειας για κάθε μήνα του χρόνου. Η συνολική οριζόντια ηλιακή ακτινοβολία.
- Οι θερμοκρασίες του εδάφους και του αέρα ανά ώρα.

Επιπρόσθετα, απαιτείται να διαπιστωθούν οι ανάγκες σε θέρμανση και ηλεκτρική ενέργεια στον οικιακό, εμπορικό και βιομηχανικό τομέα της περιοχής.

Η ηλιακή ακτινοβολία εκτός από ανεξάντλητη είναι και πάροχος μεγάλων ποσών ενέργειας, που ισούται κατά μέσο όρο με 1700kWh προσπίπτουσας ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο ετησίως. Αυτό σημαίνει ότι η συνολική ενέργεια που δέχεται η γη στην επιφάνεια της κατά τη διάρκεια ενός έτους ισούται με 10.000 φορές την ενεργειακή κατανάλωση σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η ακτινοβολούμενη από τον Ήλιο ισχύς είναι 63MW από κάθε τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας του. Μετά από 8 λεπτά της ώρας, τελικά, φθάνει στα όρια της γήινης ατμόσφαιρας ηλιακή ακτινοβολία ισχύος 1.353Watt, σε κάθε τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειάς της. Από αυτήν το 30% ανακλάται στην ατμόσφαιρα και στην επιφάνεια της Γης

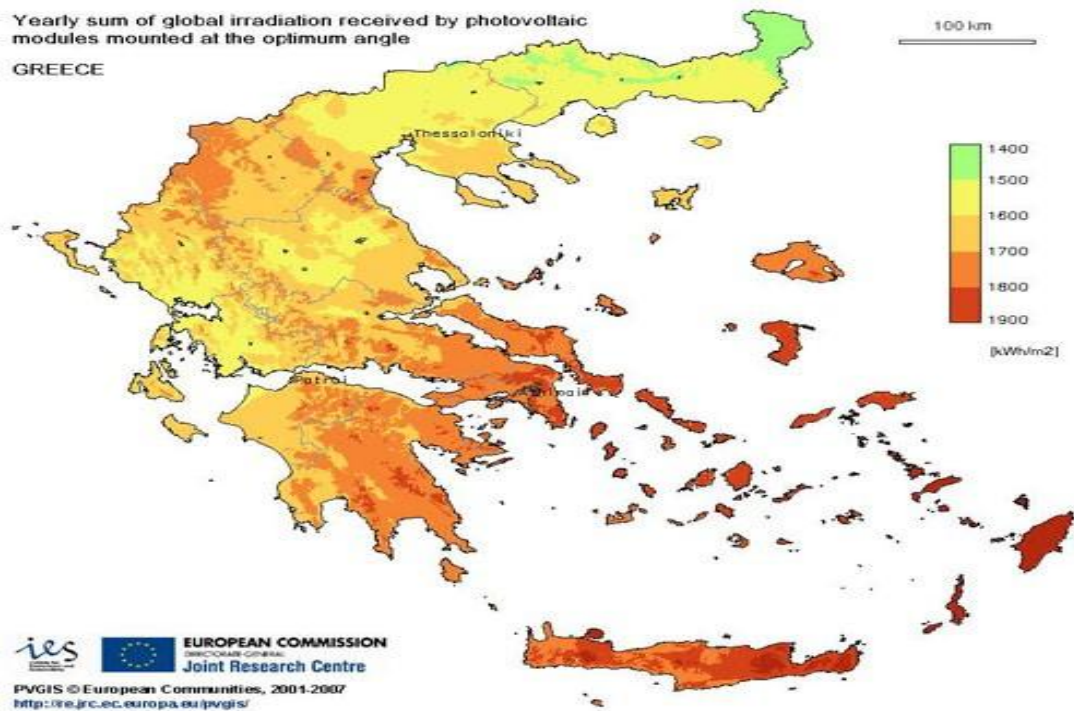
και επιστρέφει στο διάστημα. Το υπόλοιπο απορροφάτε από την ατμόσφαιρα [12].

Παρά το γεγονός ότι η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στα όρια της ατμόσφαιρας είναι παντού σταθερή, δεν συμβαίνει το ίδιο με αυτήν που φθάνει στο έδαφος, η ισχύς της οποίας ξεπερνά τα 1000 Watt/m^2 . Αυτή εξαρτάται από την εποχή του έτους, την ώρα της ημέρας, την παρουσία νεφών, ομίχλης και σκόνης, ενώ εξασθενεί τόσο περισσότερο όσο μικρότερη είναι η γωνία πρόσπτωσης της στην επιφάνεια του εδάφους και, συνεπώς, μεγαλύτερη η διαδρομή της μέσα στην ατμόσφαιρα.

Ο τελευταίος αυτός παράγοντας είναι και ο σημαντικότερος για τη διαμόρφωση της μέσης έντασης της ηλεκτρικής ενέργειας που φθάνει στο έδαφος. Όσο πιο κοντά στον Ισημερινό βρίσκεται αυτή, τόσο μικραίνει η διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας και αυξάνει η γωνία πρόσπτωσης έως 90° , με αποτέλεσμα οι συνέπειές της να γίνονται πιο έντονες.

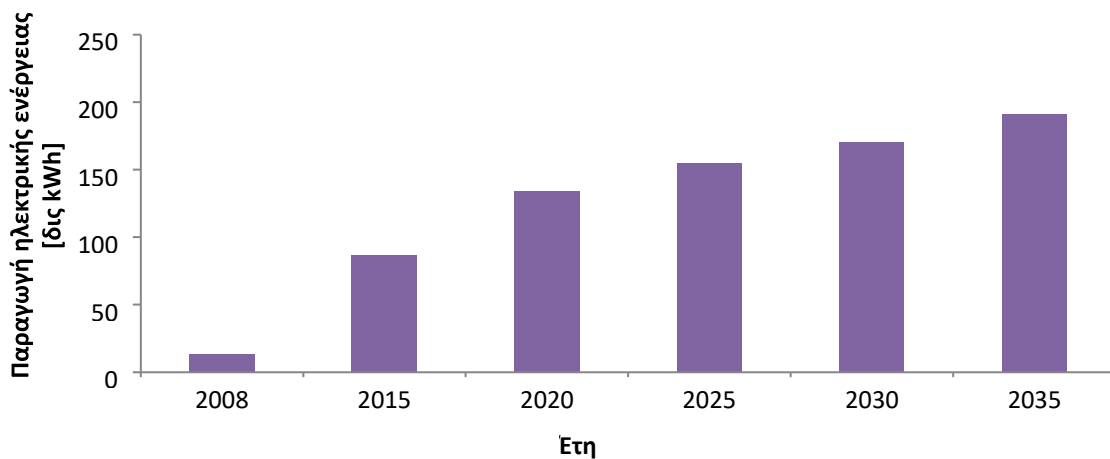
Από αυτήν την άποψη, η Ελλάδα είναι μία από τις πλέον ευνοημένες περιοχές του πλανήτη μας Σχήμα 2.11. Ο συνδυασμός του γεωγραφικού της πλάτους και της υψηλής ηλιοφάνειας έχει ως αποτέλεσμα να προστίπουν ετησίως κατά μέσον όρο, 1570 kWh ηλιακής ενέργειας σε κάθε τετραγωνικό μέτρο οριζόντιας επιφάνειάς της. Στο μεγαλύτερο τμήμα της Ελλάδας, ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερες από 2700 ώρες το χρόνο. Στη Δυτική Μακεδονία και την Ήπειρο εμφανίζει τις μικρότερες τιμές της, κυμαινόμενη από 2200 ως 2300 ώρες, ενώ στη Ρόδο και τη νότια Κρήτη ξεπερνά τις 3100 ώρες ετησίως. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι δυνατή, σε όλη την ελληνική επικράτεια, η οικονομική επωφελής εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας για θερμικές χρήσεις.

Παρ' όλα αυτά στη χώρα μας υπάρχει ένας μικρός αριθμός εγκατεστημένων Φ/Β συστημάτων, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος της τάξης των 1000 kWp . Οι κυριότερες εφαρμογές Φ/Β στη χώρα μας, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος της τάξης των 1000 kWp , αφορούν μικρά αυτόνομα συστήματα για την ηλεκτροδότηση απομονωμένων περιοχών. Η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τόσο σε απομακρυσμένες όσο και σε κατοικημένες περιοχές, χωρίς επιπτώσεις στο περιβάλλον, κάνει ελκυστική τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων στη χώρα μας.



Σχήμα 2.11: Ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας [2]

Στο Σχήμα 2.12 διακρίνεται η παγκόσμια παραγωγή ενέργειας με την χρήση ηλιακών συστημάτων καθώς και η εκτιμήσεις για το μέλλον.



Σχήμα 2.12: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακές εγκαταστάσεις παγκοσμίως [2].

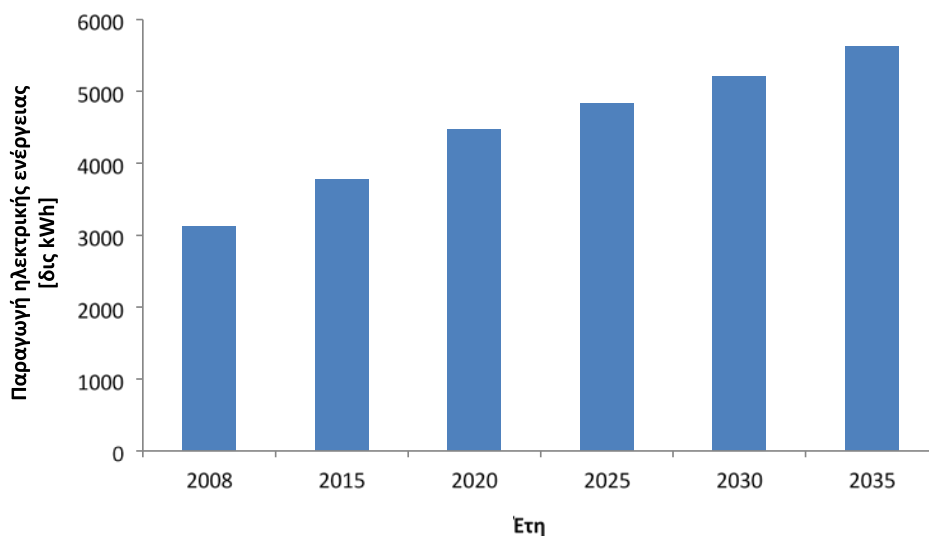
2.2.3 Υδροηλεκτρική ενέργεια

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της χρήσης του νερού το οποίο κινεί τους υδροστροβίλους ονομάζεται υδροηλεκτρική ενέργεια. Η υδροηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε αρχικά για την παραγωγή μηχανική ενέργεια και στη συνέχεια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Συγκεκριμένα, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί μετατρέπουν την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο στρόβιλος περιστρέφεται από τις υδατώσεις και αυτός με την σειρά του περιστρέφει μια γεννήτρια η οποία και παράγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Το κόστος ανά παραγόμενη μονάδα είναι μικρό, ειδικά όταν οι σταθμοί είναι μεγάλοι. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί παρότι παράγουν ρεύμα τις ώρες αιχμής μπορούν να παράγουν συνεχόμενα και σε σταθερή λειτουργία.

Τα υδροηλεκτρικά έργα ταξινομούνται σε μικρά, όταν η συνολική εγκατεστημένη ισχύς είναι κάτω των 10MW και τα μεγάλα. Οι διαφορές των δύο κατηγοριών είναι πολλές, πέραν του μεγέθους. Όπως προαναφέρθηκε, τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα λειτουργούν τις ώρες αιχμής σε αντίθεση με τα μικρά που λειτουργούν συνεχόμενα για αυτό απαιτείται και η εγκατάσταση ταμιευτήρα. Πρέπει εδώ να αναφερθεί πως τις ώρες αιχμής οι μεγάλοι σταθμοί υπερκαλύπτουν την αξία της ενέργειας που χάθηκε κατά την αδρανοποίησή τους.

Στο Σχήμα 2.13 διακρίνεται η παγκόσμια παραγωγή ενέργειας με την χρήση των υδροηλεκτρικών σταθμών καθώς και οι εκτιμήσεις για το μέλλον.



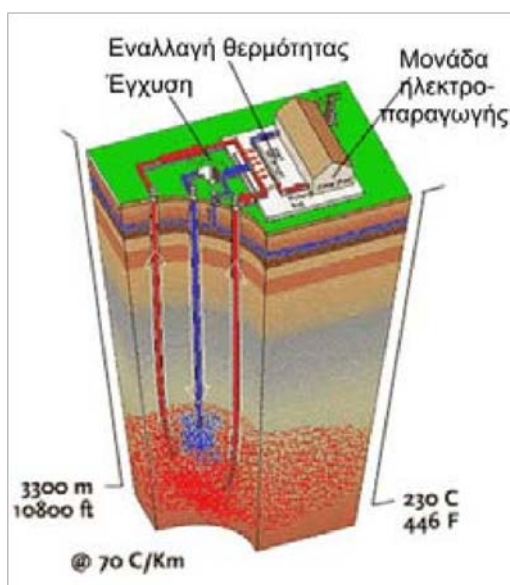
Σχήμα 2.13: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από υδροηλεκτρικά έργα παγκοσμίως [2].

2.2.4 Γεωθερμική ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια είναι, όπως και η ηλιακή, μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή. Παρότι φημίζεται για τις δυνατότητες που έχει καλύπτοντας ενεργειακές ανάγκες ψύξης και θέρμανσης μπορεί να συμβάλει και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χαμηλό κόστος καθώς επίσης και με μηδαμινή επιβάρυνση στο περιβάλλον.

Η γεωθερμική ανωμαλία, δηλαδή η αύξηση της θερμοκρασίας του υπεδάφους με ρυθμό μεγαλύτερο από 1°C ανά 33 m όπως συμβαίνει κατά την κανονική γεωθερμική βαθμίδα, δημιουργεί ένα θερμικό ενεργειακό δυναμικό. Αυτή η θερμική ενέργεια, λόγω της γεωθερμικής βαθμίδας, η οποία κυμαίνεται ανάμεσα στους 30°C-50°C ανά 1km βάθους και μπορεί να φτάσει μέχρι και τους 360°C, εκφράζεται με έντονο ενεργητικό χαρακτήρα και φαινόμενα όπως οι εκρήξεις ηφαιστείων, οι σεισμοί, οι έκλυση ατμών από την επιφάνεια του εδάφους και οι θερμές πηγές. Εν κατακλείδι οι γεωθερμικές περιοχές που διαθέτουν θερμοκρασία άνω των 150°C είναι και αυτές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ηλεκτροπαραγωγή [8].

Η πηγή αυτή είναι πρακτικά απεριόριστη και πιο προσιτή από τις υδροθερμικές πηγές (Σχήμα 2.14).



Σχήμα 2.14: η τεχνολογία των θερμών ξηρών πετρωμάτων [8].

Η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρισμού έχει διαδοθεί λόγω

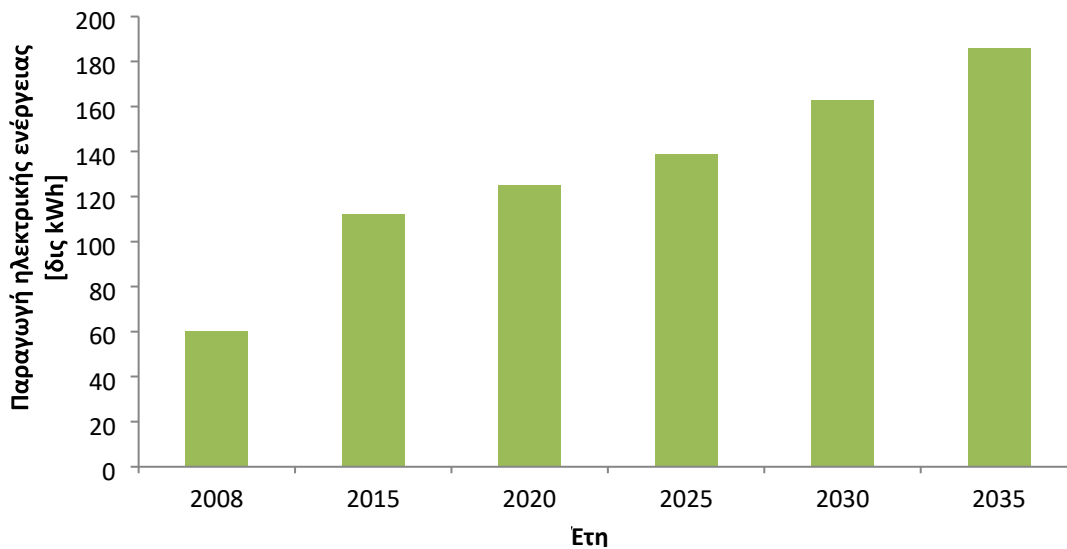
διαφόρων παραγόντων. Οι χώρες όπου επικρατούν οι γεωθερμικές πηγές επιθυμούν να αναπτύξουν τους ίδιους πόρους τους αντί του να εισάγουν καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Σε χώρες όπου διατίθεται πολλές εναλλακτικές πηγές για παραγωγή ηλεκτρισμού, περιλαμβανομένης της γεωθερμίας, αυτή προτιμάται καθώς δεν μπορεί να μεταφερθεί προς πώληση, ενώ μέσω αυτής επιτρέπεται η χρήση των συμβατικών καυσίμων για ανώτερους και καλύτερους σκοπούς από την παραγωγή ηλεκτρισμού.

Οι πηγές που έχουν ελεγχθεί και έχουν θερμοκρασία μεγαλύτερη των 150°C, άρα και την δυνατότητα χρήσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ως επί τον πλείστον είναι υδροθερμικού τύπου, χωρίζονται σε 2 κατηγορίες: αυτές κάτω των 204°C και αυτές άνω των 204°C. Για αυτές που είναι κάτω από τους 204°C για την διατήρηση ζεστού νερού υπό πίεση χρησιμοποιείται αντλία για την ρύθμιση αυτής στην γεωθερμική άλμη. Στον αντίποδα οι πηγές που είναι άνω των 204°C και διακρίνονται για το μίγμα άλμης-ατμού που διαθέτουν χρησιμοποιούν την φυσική ροή.

Οι γεωθερμικές πηγές παρέχουν σήμερα άμεση αξιοποιήσιμη θερμική ισχύ πάνω από 12000MW σε περισσότερες από 30 χώρες παγκοσμίως. Οι κύριες θέσεις όπου γίνεται άμεση χρήση της γεωθερμικής ενέργειας στην Ευρώπη είναι η Ισλανδία (30% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας, κυρίως για θέρμανση χώρων), η λεκάνη του Παρισιού (νερό ≈70°C χρησιμοποιείται για την τηλεθέρμανση των κοινοτήτων Melun, Creil και Villeneuve la Garenne) και η λεκάνη Pannonian στην Ουγγαρία.

Σήμερα υπάρχει ένα δυναμικό 12.000MW άμεσης χρήσης και πάνω από 8.000MW ηλεκτροπαραγωγής από γεωθερμικές πηγές παγκοσμίως. Για να γίνει αντιληπτή η συμμετοχή της γεωθερμικής ενέργειας, αναφέρεται ότι αυτό το δυναμικό αντιστοιχεί στο 0.4% περίπου του συνολικά εγκατεστημένου δυναμικού παραγωγής παγκοσμίως. Οι κυριότεροι χρήστες της γεωθερμίας (άμεσα και έμμεσα) είναι οι ΗΠΑ, οι Φιλιππίνες, η Ιταλία, το Μεξικό, η Ισλανδία, η Ινδονησία, η Ιαπωνία και η Νέα Ζηλανδία. Άλλες χώρες με παραγωγή μικρότερη από 20MW είναι η Αργεντινή, η Αυστραλία, η Αιθιοπία, η Γαλλία (Γουαδελούπη), η Πορτογαλία (Αζόρες), η Ρωσία και η Ταϊλάνδη.

Στο Σχήμα 2.15 φαίνεται η παραγόμενη ενέργεια από γεωθερμία σε παγκόσμιο επίπεδο και πώς αυτή εκτιμάται ότι θα εξελιχθεί σύμφωνα με τα σενάρια.



Σχήμα 2.15: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικές πηγές παγκοσμίως. [2]

Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις το ειδικών από το παραπάνω σχήμα καταλαβαίνει κανείς πως με την πάροδο του χρόνου η χρήση γεωθερμικής ενέργειας θα παρουσιάσει άνοδο. Η άνθηση της τεχνολογίας σε παγκόσμιο επίπεδο έχει εισχωρήσει ακόμα και στην γεωθερμική ενέργεια εξελίσσοντας τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση της καθιστώντας την μια συμφέρουσα λύση για τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής.

Τα γεωθερμικά πεδία χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας. Η Ελλάδα διαθέτει όλων των ειδών τα πεδία καθώς είναι μια χώρα πλούσια σε ιαματικές πηγές. Η ΔΕΗ μετά από έρευνες που έχει κάνει για την ύπαρξη πλούσιου γεωθερμικά υπεδάφους έχει διαπιστώσει σε συνεργασία με το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών πως ο ελλαδικός χώρος και πιο συγκεκριμένα περιοχές όπως η Σαντορίνη, η Κως, η Μήλος κ.α. είναι ικανές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε πηγές μέσης και υψηλής ενθαλπίας Είναι γνωστή σε όλους η ύπαρξη ιαματικών λουτρών σε όλο τον Ελλαδικό χώρο, που υποδηλώνουν γεωθερμικά πλούσιο υπέδαφος [9].

2.2.5 Ενέργεια από βιομάζα

Πρόκειται για την ενέργεια που παράγεται από την καύση βιομάζας. Βιομάζα μπορεί να θεωρηθεί οποιοδήποτε υλικό έχει προέλευση από τον φυτικό κόσμο. Η παραγωγή ενέργειας από βιομάζα δημιουργείται κατά την διαδικασία της φωτοσύνθεσης οπότε είναι

εύκολα κατανοητό πως γίνεται με την βοήθεια της ηλιακής ενέργειας.

Οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση βιομάζας συνήθως η πρώτη ύλη που χρησιμοποιούν είναι η εξής:

(α) πριονίδια καθώς επίσης και άλλα υπολείμματα ξύλου τα οποία συνήθως προέρχονται από τον κλάδο της υλοτομίας.

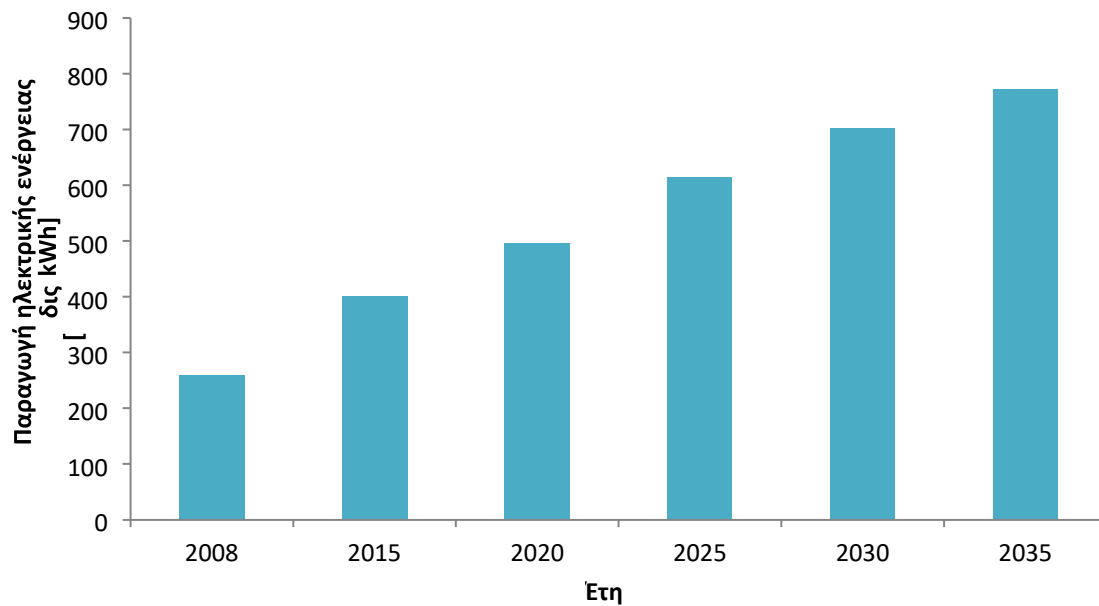
(β) και σε αυτήν την κατηγορία βρίσκονται τα υπολείμματα ένα από αυτά είναι η βαγάσση καθώς και διάφορα είδη φλοιών. Η χρήση των γεωργικών υπολειμμάτων συντελεί και στην παραγωγή θερμοχημικής ενέργειας

(γ) μίσχανθος, η φάλαρις και το αρούντο πρόκειται για οικονομικά και εύκολα στην συγκομιδή γεωργικά προϊόντα τα οποία καλλιεργούνται για την παραγωγή ενέργειας σε σταθμούς βιομάζας

(δ) όλων των ειδών τα απόβλητα από τον κλάδο των τροφίμων. Η εκμετάλλευση των αποβλήτων για την παραγωγή ενέργειας γίνεται μέσω της καύσης ή της χρήσης βιοαέριου.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση βιομάζας είναι ένας τομέας που γνωρίζει παγκόσμια άνθηση καθώς από πολλούς θεωρείται ιδανική επιλογή. Αυτός είναι και ο λόγος που τα παρακλάδια της βιομάζας και αυξάνονται και αναπτύσσονται με γοργούς ρυθμούς δείχνοντας πως θα αποτελέσει βασικό μέρος της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας [10].

Στο Σχήμα 2.16 διακρίνεται η παγκόσμια παραγωγή ενέργειας με την χρήση της βιομάζας καθώς επίσης και οι εκτιμήσεις για το μέλλον.



Σχήμα 2.16: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα παγκοσμίως [2].

2.2.6 Θαλάσσια ενέργεια

Οι θάλασσες και οι ωκεανοί καλύπτουν το 75% της Γης. Στην ουσία πρόκειται για πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας και εκμεταλλεύσιμη με ποικίλους τρόπους. Θεωρείται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, χρησιμοποιώντας την κίνηση της θάλασσας δηλαδή το φαινόμενο της παλίρροιας. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για την καθιερωμένη κίνηση των νερών η οποία χωρίζεται στην άμπωτη και στην πλημμυρίδα. Άμπωτη είναι η κίνηση του νερού προς τα κάτω ενώ αντίθετα η κίνηση του νερού προς τα πάνω ονομάζεται πλημμυρίδα. Το φαινόμενο της παλίρροιας φαίνεται πως ερευνάται από τα αρχαία χρόνια καθώς αρχαίοι Έλληνες έχουν μελετήσει την Μεσόγειο μια θαλάσσια περιοχή που δεν φημίζεται για τις παλιρροιακές της διακυμάνσεις. Εν τέλει κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η παλίρροια είναι άμεσα συνδεδεμένη με την κίνηση της Σελήνης. Πρόκειται για ένα πρόβλημα το οποίο έχουν ασχοληθεί οκτώ ολίγοι επιστήμονες όπως ο Αριστοτέλης, ο Στράβων, ο Ρομπρόνιος Μελά, ο Τίτος Λίβιος, Σουΐδας, ο Πλίνιος, ο Σενέκας και επιστήμονες της νεότερης ιστορίας.

Η παλίρροια επηρεάζεται α) κατά κύριο λόγο (70%) από τη θέση της σελήνης ως προς τη Γη καθώς και την κίνηση αυτής β) και κατά 30% από την θέση της Γης ως προς τον Ήλιο καθώς και την κίνηση της. Οι κινήσεις αυτές επιδρούν με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε ο δορυφόρος και ο ήλιος να αλλάζουν συνεχώς θέση με την διπλή έλξη που ασκεί στον

πλανήτη μας δημιουργώντας τις παλίρροιες. Οι παλίρροιές προκαλούνται από δυνάμεις οι οποίες είναι ανάλογες των μαζών και αντιστρόφως ανάλογες του κύβου των αποστάσεων. Αποτέλεσμα αυτού είναι κατά την διάρκεια των συζυγιών (περίοδος που ο ήλιος, η γη και η σελήνη βρίσκονται σε ευθεία γραμμή) να δημιουργούνται οι μεγαλύτερες παλίρροιες. Η διακύμανση και χρόνος της εκάστοτε παλίρροιας ποικίλει ανάλογα την μορφολογία του εδάφους, είτε ενισχύοντας το φαινόμενο της παλίρροιας, είτε αποδυναμώνοντας το. Υπό εκμετάλλευση υπάρχουν και τα παλιρροϊκά ρεύματα. Είναι ρεύματα τα οποία εκμεταλλεύονται την αυξομείωση της στάθμης του νερού δημιουργώντας οριζόντιες μετατοπίσεις με ταχύτητες 3-4m/sec ικανές να συμβάλουν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στη Μεσόγειο, μια θαλάσσια περιοχή η οποία θεωρείται ανοιχτή, η παλίρροια δεν γίνεται εύκολα αντιληπτή παρότι αγγίζει τα 60 εκατοστά. Μεγάλες παλιρροιακές τιμές παρουσιάζονται στις ακτές, ειδικά αν αυτές είναι το μέρος των ωκεανών. Εν κατακλείδι, οι παλιρροιακές τιμές κυμαίνονται περίπου στο ένα μέτρο, ενώ σε πολλές περιοχές ξεπερνάει τα δέκα μέτρα φτάνοντας ακόμα και τα 18 στις ακτές της Παταγονίας ή και τα 20 στο Μπία Φουντ [11].



Σχήμα 2.17: Το παλιρροιακό φράγμα της Rance [11].

Κεφάλαιο 3 Ενεργειακό τοπίο της Ελλάδας

Το μεγαλύτερο κομμάτι της πίτας από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατέχουν οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί. Αν παρατηρήσει κανείς τον χάρτη με τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς (Σχήμα 3.1) θα διακρίνει πως η συγκέντρωσή τους παρουσιάζεται στον Βορρά. Πρόκειται για ένα μέρος πλούσιο σε κοιτάσματα λιγνίτη, το οποίο αποτελεί το βασικό καύσιμο των θερμοηλεκτρικών σταθμών, κυρίως στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας όπου και βρίσκεται το 50% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μεταφορά στα μεγάλα αστικά κέντρα να γίνεται με απώλειες και ανισορροπία. Σύμφωνα με τις έρευνες ειδικών στον ελλαδικό χώρο, υπάρχουν τέσσερις περιοχές πλούσιες σε αποθέματα λιγνίτη, το κοιτάσμα της Δράμας, της Δυτικής Μακεδονίας, της Ελασσόνας καθώς και αυτό της Μεγαλόπολης. Τα επίσημα στοιχεία που παρουσιάστηκαν το 2013 δείχνουν ότι οι θερμικοί σταθμοί αποτελούν το 66.5% της εγκατεστημένης ισχύος των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, από τους οποίους τα 4930 MW προέρχονται από λιγνίτη, τα 730 MW από πετρέλαιο και τα υπόλοιπα 4579 MW με την χρήση φυσικού αερίου [13]. Το υπόλοιπο 19.6% αποτελείται από μεγάλους υδροηλεκτρικούς σταθμούς και το εναπομείναν 13.9% κατέχουν οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

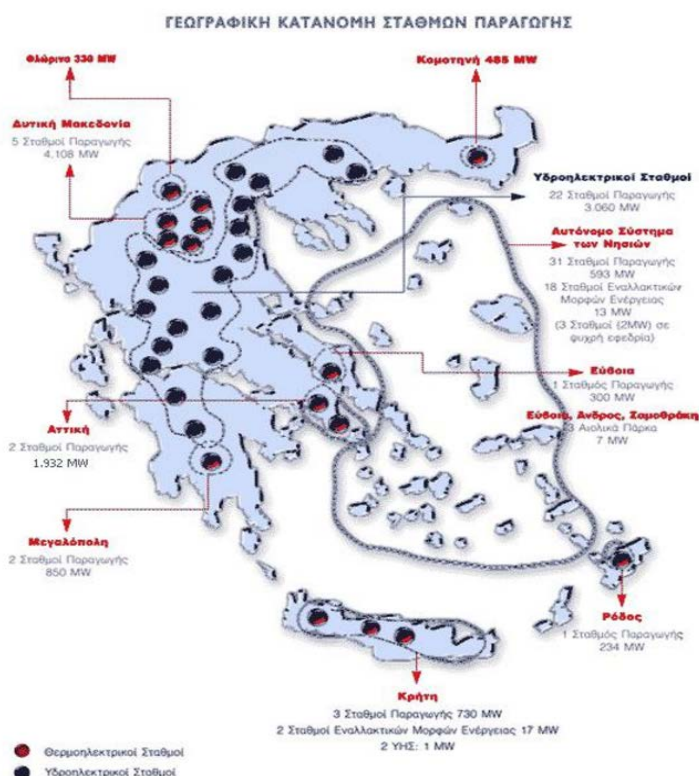
Ο λιγνίτης καταλαμβάνει την πρώτη θέση στα καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα με ποσοστό 53.15% της εγχώριας παραγωγής για το 2013. Το φυσικό αέριο καταλαμβάνει το 28.3% της εγχώριας παραγωγής με απώτερο σκοπό την αύξηση αυτού. Για την προστασία του πλανήτη από την προκαλούμενη κυρίως από την χρήση ορυκτών καυσίμων κλιματική αλλαγή, έχει αναγκάσει τα κράτη να θέσουν ως στόχο υψηλής προτεραιότητας την προώθηση με κάθε τρόπο των ΑΠΕ. Για την Ελλάδα, ο στόχος είναι να καταλάβουν οι ΑΠΕ μέχρι το 2020 το 34% της συνολικής παραγωγής ενέργειας. Η χρήση νέων καυσίμων, όπως ο λιθάνθρακας έχουν προταθεί ως αντιστάθμισμα στην έντονη χρήση του λιγνίτη προκειμένου να παραταθεί περαιτέρω η διαθεσιμότητα του καθώς τα κοιτάσματα του με βάση την τρέχουσα χρήση επαρκούν για περίπου 35 χρόνια ακόμα. Οι μονάδες που χρησιμοποιούν λιθάνθρακα εκπέμπουν μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα ανά παραγόμενη μονάδα ενέργειας, καθώς επιτυγχάνουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης από τις αντίστοιχες λιγνιτικές μονάδες, ενώ για την αντιμετώπιση των εκπομπών διοξειδίου του θείου που τις χαρακτηρίζει, η αποθείωση των καυσαερίων συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση των εκπομπών τους. Τέλος, να αναφερθεί πως τα αποθέματα του άνθρακα επαρκούν για τα επόμενα 200 χρόνια, που είναι σημαντικά περισσότερα από τα 50-60 χρόνια που έχουν εκτιμήσει οι επιστήμονες για τα αποθέματα φυσικού αερίου. Καθοριστικό παράγοντα στην εκμετάλλευση αυτή θα έχει η εξέλιξη των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων

άνθρακα ώστε να προσαρμοστούν στις απαιτήσεις του «Πρωτοκόλλου του Κιότο» καθώς και στις αυστηρές και απαιτητικές προδιαγραφές εγκατάστασης νέων μονάδων καύσης από την Ε.Ε..

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παρήγαγαν 4160 MW στο τέλος του 2013 με το μεγαλύτερο κομμάτι του συγκεκριμένου κλάδου παραγωγής ενέργειας να καταλαμβάνουν τα αιολικά πάρκα [2].

3.1 Ηλεκτροπαραγωγή με καύσιμο γαιάνθρακα

Στην Ελλάδα οι ποσότητες κοιτασμάτων γαιάνθρακα (λιγνίτης και τύρφη) ανέρχονται σε μερικά δισεκατομμύρια τόνους, με την τύρφη να είναι ένα από τα πλέον φτωχά σε ποιότητα στερεά καύσιμα αλλά με ιδιαίτερα περιορισμένη περιεκτικότητά σε καύσιμο θείο. Υπολογίζεται πως τα αποθέματα στον ελλαδικό χώρο αγγίζουν περίπου τα 5 δισεκατομμύρια τόνους, εκ των οποίων τα 3,2 δισεκατομμύρια, ποσότητα που επαρκεί για τα επόμενα 45 χρόνια, να είναι εκμεταλλεύσιμη για την παραγωγή ενέργειας. Στο Σχήμα 3.1 διακρίνονται μερικά από τα κοιτάσματα λιγνίτη του ελλαδικού χώρου.



Σχήμα 3.1 Τα μεγαλύτερα κοιτάσματα λιγνίτη του ελλαδικού χώρου [2].

Η Ελλάδα στην λίστα με τις χώρες παραγωγής λιγνίτη καταλαμβάνει την δεύτερη θέση σε Ευρωπαϊκό επίπεδο και την έκτη σε παγκόσμιο. Αξίζει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με εκτιμήσεις, ο ελλαδικός χώρος, πέραν των μεγάλων κοιτασμάτων λιγνίτη που έχει, διαθέτει και ένα κοίτασμα τεσσάρων δισεκατομμυρίων κυβικών μέτρων τύρφης στην Ανατολική Μακεδονία στην περιοχή των Φιλίππων [10].

3.2 Ηλεκτροπαραγωγή με καύσιμο πετρέλαιο

Στην Ελλάδα, μέχρι την δεκαετία του '70 και την κρίση στο πετρελαϊκό χώρο, η χρήση πετρελαίου για την παραγωγή ενέργειας άγγιξε το 48.3% εξαιτίας της εσφαλμένης αντίληψης ότι οι εγχώριοι ενεργειακοί πόροι είναι πολύ περιορισμένοι. Οι εξελίξεις όμως την περίοδο εκείνη αύξησαν ραγδαία την τιμή του πετρελαίου οδηγώντας στην αναζήτηση νέων λύσεων. Τότε ανακαλύφθηκαν τα μεγάλα κοιτάσματα λιγνίτη που παράγουν ενέργεια μέχρι και σήμερα, οδηγώντας το πετρέλαιο να καταλαμβάνει το 6,8% της ετήσιας ηλεκτροπαραγωγής και συγχρόνως να κατέχει το 18% της εγκατεστημένης ισχύς. Το μεγαλύτερο κομμάτι αυτού του ποσοστού προέρχεται κυρίως από απομακρυσμένες περιοχές, δηλαδή περιοχές αποκομμένες από το κεντρικό δίκτυο μεταφοράς ενέργειας κάνοντας την χρήση του πετρελαίου πιο συμφέρουσα επιλογή από αυτή του λιγνίτη. Ακόμα, η χρήση πετρελαίου επειδή εκπέμπει λιγότερους ρύπους έναντι του λιγνίτη λαμβάνει χώρα και σε θερμικούς σταθμούς όπως του Λαυρίου ή και του Αλιβερίου οι οποίοι βρίσκονται κοντά σε μεγάλα αστικά κέντρα [14, 15].

3.3 Ηλεκτροπαραγωγή με καύσιμο φυσικό αέριο

Η Ελλάδα καθώς μέχρι τώρα δεν έχει βρει κάποιο κοίτασμα φυσικού αερίου, κατέχει ένα ολοκληρωμένο σύστημα εισαγωγής, διανομής και κατανάλωσης υπό την αιγίδα της Δημόσιας Επιχείρησης Αερίου. Βασικοί προμηθευτές της Δημόσιας Επιχείρησης Αερίου είναι η Ρωσική Gazprom η οποία πρόσφατα ανανέωσαν την μακροχρόνια σύμβαση τους μέχρι το 2026 καθώς επίσης και η Τούρκικη Botas και η Αλγερινή Sonatrach οι οποίες δεσμεύονται και αυτές από συμβόλαιο μέχρι και το 2020. Η ΔΕΗ λόγω της σταδιακής εναρμόνισης με τα πρωτόκολλα για τον περιορισμό των εκπομπών που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή, έχει θέση ως στόχο την σταδιακή αύξηση της χρήσης φυσικού αερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε σταθμούς συνδυασμένου κύκλου [2].



Σχήμα 3.2 Δίκτυο μεταφοράς φυσικού αερίου και πετρελαίου [17].

Το φυσικό αέριο διεισδύει με γρήγορους ρυθμούς στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην χώρα μας μετά την απελευθέρωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου. Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδυασμένου κύκλου φυσικού αερίου και τα συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας αποτελούν τη βέλτιστη δυνατή επιλογή τόσο από πλευράς εξοικονόμησης ενέργειας και κόστους παραγωγής όσο και από πλευράς περιβαλλοντικών επιπτώσεων [16].

Τον Ιούνιο του 1997 και συγκεκριμένα στον σταθμό ηλεκτροπαραγωγής στο Κερατσίνι καταγράφηκε η πρώτη χρήση φυσικού αερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ΔΕΗ οπότε και ουσιαστικά αποτέλεσε τον πρώτο πελάτη της ΔΕΠΑ. Έπειτα η τροφοδότηση φυσικού αερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμένου κύκλου εισχώρησε και στους σταθμούς του Λαυρίου, της Κομοτηνής, του Αλιβερίου καθώς και στην Μεγαλόπολη.

Το καλοκαίρι του 2004, συνδέθηκε στο Εθνικό Σύστημα Μεταφοράς Φυσικού Αερίου και λειτούργησε, ο πρώτος ιδιωτικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανοικτού κύκλου 148 MWe (μονάδα αιχμής), ο οποίος ανήκει στην εταιρία «ΗΡΩΝ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ Α.Ε.».

Από το Μάιο του 2005, λειτουργεί ο Σταθμός Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας Συνδυασμένου Κύκλου 390 MWe της εταιρίας «ELPEDISON ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ Α.Ε.» στο δήμο Εχεδώρου του νομού Θεσσαλονίκης.

Τον Μάιο του 2008, τέθηκε σε λειτουργία η μονάδα Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας εγκατεστημένης ισχύος 334 MWe για την κάλυψη των αναγκών της εταιρείας «ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΝ ΑΕ.».

Στις αρχές του 2010, ξεκίνησε η λειτουργία της μονάδας ηλεκτροπαραγωγής συνδυασμένου κύκλου της εταιρείας «ΗΡΩΝ ΙΙ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΒΟΙΩΤΙΑΣ Α.Ε.» εγκατεστημένης ισχύος 435 MWe, με καύσιμο Φυσικό Αέριο στην περιοχή της Θήβας στη Βοιωτία.

Τον Απρίλιο του 2010, τέθηκε σε λειτουργία η δεύτερη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδυασμένου κύκλου της «ELPEDISON ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ Α.Ε.» στην Βιομηχανική Περιοχή της Θίσβης του νομού Βοιωτίας, εγκατεστημένης ισχύος 421,6 MWe.

Τον Νοέμβριο του ίδιου έτους λειτούργησε η μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδυασμένου κύκλου « PROTERGIA » στην περιοχή του Αγ. Νικολάου Βοιωτίας εγκατεστημένης ισχύος 444 MWe.

Από τον Οκτώβριο του 2011, τέθηκε σε λειτουργία ο Σταθμός Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας Συνδυασμένου Κύκλου 436,6 MWe της εταιρίας "ΚΟΡΙΝΘΟΣ POWER Α.Ε" στην περιοχή των Αγίων Θεοδώρων του Νομού Κορινθίας.

3.4 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

3.4.1 Αιολική ενέργεια

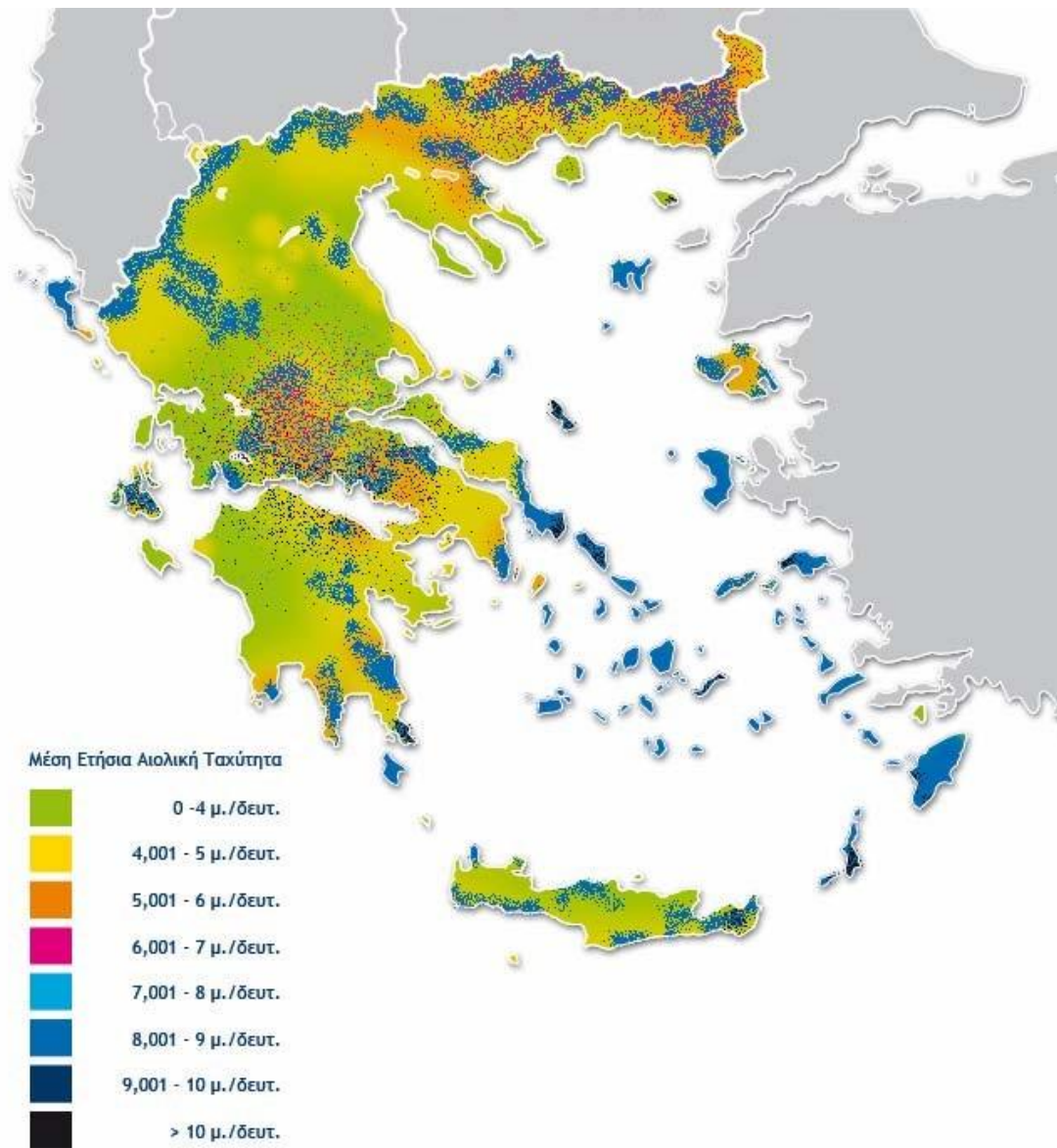
Η χώρα μας διαθέτει εξαιρετικά πλούσιο αιολικό δυναμικό της τάξεως των 11.000-14.000 MW. Η αιολική ενέργεια μπορεί να γίνει σημαντικός μοχλός ανάπτυξης της Σχήμα 3.3. Το αιολικό δυναμικό της χώρας μας είναι γεωγραφικά διεσπαρμένο, οδηγώντας σε ένα δίκτυο μεταφοράς με μικρότερες απώλειες και πιο σταθερό. Από τις πλέον πρόσφορες περιοχές

για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών είναι οι παράλιες περιοχές της ηπειρωτικής Ελλάδας και, κυρίως, τα νησιά του Αιγαίου, στα οποία συχνά πνέουν ισχυροί άνεμοι, πολλές φορές εντάσεως 8 και 9 μποφόρ.

Οι πρώτες δραστηριότητες για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα άρχισαν το 1975, με την πραγματοποίηση από τη ΔΕΗ μετρήσεων των ανεμολογικών στοιχείων σε πολλές περιοχές της χώρας. Η κίνηση αυτή ήταν ενδεδειγμένη δεδομένου ότι η ύπαρξη καλών ανεμολογικών στοιχείων για μια σειρά πιθανών περιοχών εγκατάστασης είναι βασικός παράγοντας για την ορθή επιλογή της θέσης των αιολικών πάρκων [18].

Το υβριδικό πάρκο της Κύθνου

Στην Κύθνο η ΔΕΗ έχει προχωρήσει στη πρώτη εφαρμογή στην Ελλάδα υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Οι ανεμογεννήτριες του αιολικού πάρκου, καθώς και τα φωτοβολταϊκά συστήματα που έχουν εγκατασταθεί εκεί, συνεργάζονται με το συμβατικό σταθμό του νησιού, ο οποίος, καταναλώνοντας πετρέλαιο ως καύσιμο, παράγει ηλεκτρικό ρεύμα με τη βοήθεια ηλεκτροπαραγωγών ζευγών. Το αιολικό πάρκο της Κύθνου εγκαταστάθηκε το 1982 και στην αρχή αποτελούνταν από 5 ανεμογεννήτριες, των 20kW. Το 1990, πέντε νέες ανεμογεννήτριες, των 33 kW η κάθε μία εγκαταστάθηκαν στη θέση των προηγούμενων ενώ το 2000 προστέθηκε μια ανεμογεννήτρια των 500kW.



Σχήμα 3.3: Μέση αιολική ταχύτητα στην Ελλάδα [20]

Το αιολικό πάρκο της Άνδρου

Η Άνδρος αποτελεί τυπικό παράδειγμα ορεινού κυκλαδίτικου νησιού με πολύ υψηλό αιολικό δυναμικό. Στο βόρειο τμήμα της κοντά στο χωριό Καλυβάρι, όπου η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου είναι της τάξης των 9,7m/s, λειτουργεί αιολικό πάρκο της ΔΕΗ συνολικής εγκατεστημένης ισχύς περίπου 1,6MW, που αποτελείται από επτά ανεμογεννήτριες. Ο μέσος ετήσιος συντελεστής ισχύος του πάρκου αυτού είναι της τάξεως του 40% και είναι

γεγονός ότι αιολικά πάρκα με αποδόσεις συγκρίσιμες με αυτή του πάρκου της ΔΕΗ στην Άνδρο δεν βρίσκονται εύκολα στον υπόλοιπο κόσμο.

Η κατάσταση στη υπόλοιπη Ελλάδα

Εκτός από την Κύθνο και την Άνδρο, η ΔΕΗ αλλά κυρίως ιδιωτικές εταιρείες έχουν προχωρήσει στην εγκατάσταση αιολικών πάρκων και σε άλλες περιοχές (Σχήμα 3.4), όπως στην Εύβοια (συνολικής ισχύος 212MW), τη Θράκη (198MW), τα νησιά του ανατολικού Αιγαίου (30MW), την Κρήτη (152MW), την Πελοπόννησο (172MW) και τις Κυκλάδες (43MW). Το σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος το 2014 ανήλθε στα 1878MW [21].



Σχήμα 3.4: Γεωγραφική κατανομή εγκατεστημένης ισχύος (σε MW) στην Ελλάδα το 2008 [22].

3.4.2 Ηλιακή ενέργεια

Η Ελλάδα θεωρείται από τις επιστήμονες μια χώρα πλούσια σε ηλιακή ενέργεια καθώς τις περισσότερες μέρες του χρόνου επικρατεί ηλιοφάνεια. Καθώς η ηλιακή ενέργεια πρακτικά είναι ανεξάντλητη τα νησιά έχουν στραφεί στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων για την παραγωγή ενέργειας. Τέτοια συστήματα διακρίνονται επίσης και στον υπόλοιπο ελλαδικό χώρο είτε στο έδαφος είτε στις στέγες των κτιρίων.

Τα εν ενεργεία ηλιακά συστήματα καταλαμβάνουν 3.587.200 m². Μεγάλο κομμάτι των οικογενειών της Ελλάδος χρησιμοποιεί ηλιακό θερμοσίφωνα καθ' όλη την διάρκεια του έτους καταλαμβάνοντας στο 80% της ετήσιας κατανάλωσης ζεστού νερού εξοικονομώντας γύρω στις 1300GW και μειώνοντας τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα. Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας έχει συμβάλει θετικά και στους ηλιακούς θερμοσίφωνες βελτιώνοντας τον βαθμό απόδοσης τους. Η Ελλάδα βρίσκεται στην τρίτη θέση στην ευρωπαϊκή αγορά ως προς την εγκατεστημένη επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών επίσης καταλαμβάνει την πρώτη θέση σαν εξαγωγέας ηλιακών συλλεκτών στην Ευρωπαϊκή Ένωση [11].

Η Ελλάδα παρουσιάζει ραγδαία αύξηση στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων την τελευταία δεκαετία. Ο συνδυασμός του γεωγραφικού της πλάτους και της υψηλής ηλιοφάνειας έχει ως αποτέλεσμα να προσπίπτουν ετησίως κατά μέσον όρο, 1570 kWh ηλιακής ενέργειας σε κάθε τετραγωνικό μέτρο οριζόντιας επιφάνειάς της. Στο μεγαλύτερο τμήμα της Ελλάδας, ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερες από 2700 ώρες το χρόνο. Στη Δυτική Μακεδονία και την Ήπειρο εμφανίζει τις μικρότερες τιμές της, κυμαινόμενη από 2200 ως 2300 ώρες, ενώ στη Ρόδο και τη νότια Κρήτη ξεπερνά τις 3100 ώρες ετησίως. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι δυνατή, σε όλη την ελληνική επικράτεια, η οικονομική επωφελής εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας για θερμικές χρήσεις. Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω η συνολική εγκατεστημένη ισχύς από την χρήση φωτοβολταϊκών το 2015 ανήλθε στα 2.600 MW εκ των οποίων το 50% να προέρχεται από μονάδες μικρής ισχύς.

Τέλος, στην ευρωπαϊκή αγορά αρχίζει να εισχωρεί και ο ηλιακός κλιματισμός, δηλαδή η χρήση ηλιακής ενέργειας, όχι μόνο για συνδυασμό παραγωγής ζεστού νερού και θέρμανσης χώρων, αλλά και ο κλιματισμός τους την καλοκαιρινή περίοδο. Η χρήση των συστημάτων αυτών στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες είναι τεχνικά, αλλά και οικονομικά αποδοτική, δεδομένων των εξαιρετικά υψηλών απαιτήσεων σε κλιματισμό, σε συνδυασμό με την ταυτόχρονη υψηλή, δωρεάν ηλιακή ενέργεια. Τέτοιες εγκαταστάσεις επιδρούν θετικά και στην ηλεκτροπαραγωγή της χώρας μας, καθώς η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ενός

συστήματος ηλιακού κλιματισμού είναι από 90% έως και 97% χαμηλότερη από αυτή ενός κλιματιστικού συστήματος [11],[12].

3.4.3 Υδροηλεκτρικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής

Η Ελλάδα επί το πλείστον ορεινή χώρα άνω του 80%, συγκεντρώνει τα περισσότερα βουνά της στο βορειοδυτικό της μέρος, το οποίο, προσφέρεται για υδροηλεκτρική ανάπτυξη.

- Το ετήσιο θεωρητικό υδροδυναμικό της ανέρχεται σε περίπου: 80TWh
- Το οικονομικά εκμεταλλεύσιμο υδροδυναμικό φτάνει τις: 12TWh

Οι μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι δυνατόν να κατασκευαστούν σε περιοχές με σημαντικές υδατοπτώσεις και κατάλληλη γεωλογική διαμόρφωση. Συνήθως η ενέργεια, που παράγεται, χρησιμοποιείται μόνο συμπληρωματικά με τις άλλες συμβατικές πηγές ενέργειας και καλύπτει τις ώρες αιχμής φορτίου. Η Ελλάδα, παρότι διαθέτει πλούσιο υδροδυναμικό, ικανοποιεί ένα μικρό ποσοστό των ενεργειακών της αναγκών από υδροηλεκτρική ενέργεια [23].

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί (ΥΗΣ) κατατάσσονται ανάλογα με το μέγεθος της παραγόμενης ισχύος σε :

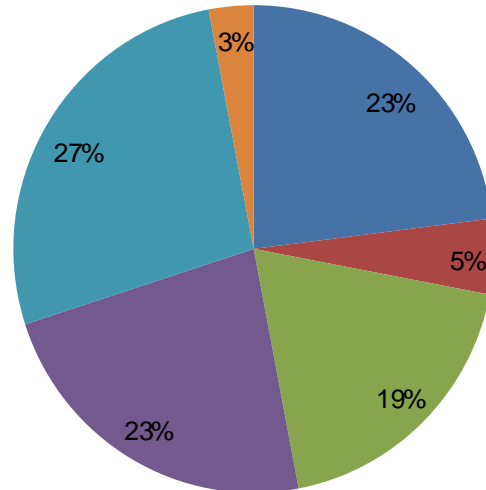
- Μεγάλους (large) ΥΗΣ με παραγόμενη ισχύ > 10 MW.
- Μικρούς (small) ΥΗΣ με παραγόμενη ισχύ 1-10 MW.
- Πολύ μικρούς (mini) ΥΗΣ με παραγόμενη ισχύ < 1 MW.

Σύμφωνα με τις πιο πρόσφατες επίσημες διαθέσιμες πληροφορίες στην Ελλάδα βρίσκονται σε λειτουργία περίπου 50 ΜΥΗΕ με συνολική ισχύ περίπου 93,3MW. Αυτοί οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι ίσοι κατανεμημένοι στην Μακεδονία, Ήπειρος, Κεντρική Ελλάδα και τη Δυτική Πελοπόννησο [24].

Από τους υπάρχοντες υδροηλεκτρικούς, οι 21 ΜΥΗΕ έχουν ισχύ που κυμαίνεται από 1-10MW αντιπροσωπεύοντας το 82% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος. Από την άλλη πλευρά, οι υπόλοιποι 29 σταθμοί ανήκουν στην ομάδα των μικρών εγκαταστάσεων (<1MW) με συνολική ισχύ 16,75MW.

Γεωγραφική κατανομή μικρών ΥΗΕ στην Ελλάδα

■ Κεντρική Ελλάδα ■ Θεσσαλία ■ Δυτική Πελοπόννησος
■ Ήπειρος ■ Μακεδονία ■ Λοιπά



Σχήμα 3.5 : Γεωγραφική κατανομή μικρών ΥΗΕ στην Ελλάδα [24].

3.4.4 Άλλες Α.Π.Ε.

Στην Ελλάδα έχει ξεκινήσει τα τελευταία χρόνια μία προσπάθεια ενεργειακής αξιοποίησης του βιοαερίου, όπως φαίνεται και στον παρακάτω Πίνακα 3.1:

Μια άλλη ενδιαφέρουσα προοπτική, την οποία εξετάζει το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας είναι η ενεργειακή αξιοποίηση των αποβλήτων βιομηχανιών επεξεργασίας εσπεριδοειδών. Από τους 150.000 τόνους οργανικών αποβλήτων που προκύπτουν κάθε χρόνο από 18 βιομηχανίες επεξεργασίας εσπεριδοειδών, θα μπορούσε να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια 27 GWhε/έτος, ικανή να καλύψει τις ετήσιες ανάγκες μιας πόλης 6.500 κατοίκων, καθώς και θερμική ενέργεια 41 GWhth/έτος [25].

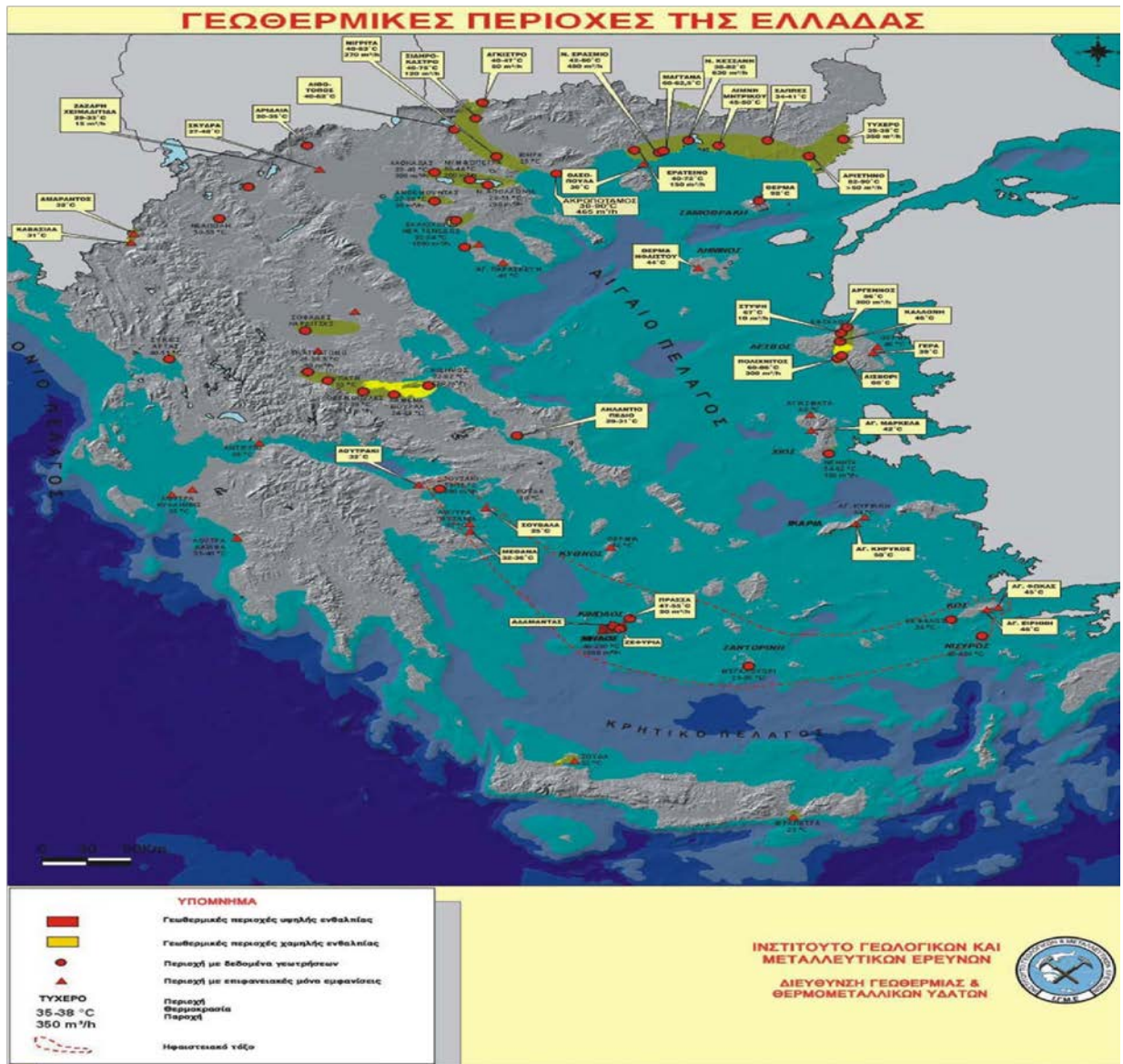
Τέλος, μία επενδυτική πρόταση, η οποία δυστυχώς δεν περπάτησε αλλά θα μπορούσε να επανενεργοποιηθεί στο μέλλον, είναι η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας από αγροτικά παραπροϊόντα στην Κρήτη ή και άλλα νησιά. Η βιομάζα μπορεί να προέρχεται από αγροτικά υπολείμματα (ελαιοκλαδέματα, στέμφυλα και άλλα γεωργικά παραπροϊόντα),

καθώς και από τα υπολείμματα της επεξεργασίας ελαιόλαδου (ελαιοπυρήνα, κασίγαρο, κ.λπ.) και αμπελουργίας (τσάμπουρα). Στο παρελθόν υπήρξε ενδιαφέρον για μια μονάδα ηλεκτρικής ισχύος 20,1 MW στην Κρήτη, με δυνατότητα να παράγει σε ετήσια βάση καθαρή ηλεκτρική ενέργεια της τάξης των 158,5 GWh, καθώς και θερμική ενέργεια της τάξης των 18.605 GJ. Αυτό σημαίνει ότι μια τέτοια μονάδα θα μπορούσε να καλύπτει το 10% περίπου των συνολικών αναγκών της Κρήτης.

Πίνακας 3.1: Αξιοποίηση βιοαερίου στην Ελλάδα [25]

| Πρώτη ύλη | Τοποθεσία | Παραγωγή βιοαερίου m ³ /ημέρα | Ηλεκτρική ισχύς MW |
|----------------------------|------------------------|--|--------------------|
| Αέριο χωματερής | Α. Λιόσια, Αττικής | 184.000 | 14 |
| Αέριο χωματερής | Ταγαράδες, Θεσσαλονίκη | 1.200 | 0,24 |
| Ιλύς βιολογικού καθαρισμού | Ψυττάλεια, Αττικής | 60.000 | 7,37 |
| Ιλύς βιολογικού καθαρισμού | Ηράκλειο, Κρήτης | 2.460 | 0,18 |
| Ιλύς βιολογικού καθαρισμού | Βόλος | 2.800 | 0,23 |

Επίσης στην Ελλάδα, η εκμετάλλευση της γεωθερμίας βρίσκεται στο στάδιο των θερμικών εφαρμογών και μόνο. Η Ελλάδα διαθέτει όλων των ειδών τα πεδία καθώς είναι μια χώρα πλούσια σε ιαματικές πηγές. Η ΔΕΗ μετά από έρευνες που έχει κάνει για την ύπαρξη πλούσιου γεωθερμικά υπεδάφους έχει διαπιστώσει σε συνεργασία με το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών πως ο ελλαδικός χώρος και πιο συγκεκριμένα περιοχές όπως η Σαντορίνη, η Κως, η Μήλος κ.α. είναι ικανές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε πηγές μέσης και υψηλής [26].



Σχήμα 3.6: Τα σημαντικότερα γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα [26]

Κεφάλαιο 4 Εισαγωγή στις πυρηνικές τεχνολογίες

4.1 Βασικά στοιχεία λειτουργίας πυρηνικών τεχνολογιών

4.1.1 Αλυσιδωτή αντίδραση

Η σχάση είναι το φαινόμενο στο οποίο βασίζεται η λειτουργία των πυρηνικών αντιδραστήρων. Η σύγκρουση ενός νετρονίου με ένα πυρήνα U-235 τις περισσότερες φορές έχει σαν αποτέλεσμα να ενσωματωθεί σε αυτόν και να προκύψει ένας νέος πολυσύνθετος πυρήνας σε κατάσταση διέγερσης, ο οποίος χωρίζεται σε δύο κομμάτια απελευθερώνοντας ενέργεια καθώς επίσης και δύο ή τρία νετρόνια συνήθως αφού πρώτα έχει προηγηθεί η σχάση. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ενέργειας εμφανίζεται σαν θερμότητα σχεδόν την ίδια στιγμή με τη σχάση. Η διαφορά στους πυρηνικούς αντιδραστήρες, είναι ότι η ποσότητα U-235 που απαιτείται είναι αρκετά περισσότερη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα από μία σχάση να προκύπτουν νετρόνια τα οποία στην συνέχεια απορροφούνται από άλλους πυρήνες U-235 με αποτέλεσμα την εκπομπή νέων νετρονίων που και αυτά με τη σειρά τους θα δημιουργήσουν εκ νέου την ίδια διαδικασία. Εντούτοις, η σχάση εκτός από την ενέργεια που εκλύει, παράγει τα νετρόνια τα οποία είναι και το μέσο της αναπαραγωγής της. Φυσικό επακόλουθο, αυτού του ιδιαίτερου φαινομένου από αλυσιδωτές αντιδράσεις που λαμβάνει χώρα στους πυρηνικούς αντιδραστήρες έχει σαν αποτέλεσμα την αυτοσυντήρηση. Βέβαια, υπάρχουν και στιγμές μερικά από τα νετρόνια που παράγονται κατά τις σχάσεις μπορεί να διαφύγουν από την επιφάνεια του αντιδραστήρα ή να απορροφηθούν από υλικά που δεν είναι μπορούν να πραγματοποιήσουν σχάση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την απώλεια νετρονίων στη διαδικασία αυτοσυντήρησης της αλυσιδωτής αντίδρασης.

Η ενέργεια που ελκύεται από την σχάση για να είναι εκμεταλλεύσιμη η χρήση κάποιου ψυκτικού υλικού είναι αναγκαία για να απάγει την θερμότητα από το καύσιμο ώστε να τη μεταφέρει έξω από τον πυρήνα του αντιδραστήρα για την διαδικασία της ηλεκτροπαραγωγής. Ακόμα, είναι απαραίτητο να υπάρχει κάποιου είδους έλεγχος καθ' όλη την διάρκεια της διαδικασίας. Το πλήθος των νετρονίων στην καρδιά του πυρηνικού αντιδραστήρα είναι ανάλογο του ρυθμού των σχάσεων οπότε και της θερμικής ισχύς του αντιδραστήρα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την απαίτηση για συνεχή έλεγχο του συνολικού αριθμού των νετρονίων της παραγόμενης ισχύος και επομένως του ισοζυγίου μεταξύ του ρυθμού παραγωγής και απώλειας τους. Εν κατακλείδι ο συντελεστής πολλαπλασιασμού k βοηθά στην υλοποίησή αυτή, ο οποίος ορίζεται ως εξής:

$$k = \frac{\text{αριθμός σχάσεων σε μία γενιά}}{\text{αριθμός σχάσεων προηγούμενης γενιάς}}$$

- $k > 1$: Υπερκρίσιμο σύστημα. Η ενέργεια που εκλύεται μέσα στον αντιδραστήρα αυξάνεται βαθμιαία με την πάροδο του χρόνου καθώς ο αριθμός των σχάσεων αυξάνεται από γενιά σε γενιά.
- $k < 1$: Ο αριθμός των σχάσεων φθίνει με την πάροδο του χρόνου, πρόκειται για υποκρίσιμο σύστημα.
- $k = 1$: Η ενέργεια που απελευθερώνεται είναι σταθερή διότι από γενιά σε γενιά ο αριθμός των σχάσεων παραμένει αναλλοίωτος. Το σύστημα είναι κρίσιμο.

Έτσι, για την αύξηση της παραγόμενης ενέργειας από τον αντιδραστήρα μεταβάλλουμε την τιμή του k ώστε $k > 1$ και το σύστημα να γίνει υπερκρίσιμο. Όταν, η παραγόμενη ενέργεια έχει την επιθυμητή τιμή, μεταβάλλουμε το k στην μονάδα έτσι ώστε το σύστημα να γίνει κρίσιμο. Τέλος, για την μείωση της ενέργειας που παράγεται από τον αντιδραστήρα ή την απενεργοποίηση αυτού μειώνουμε την τιμή του k ώστε να γίνει ελαφρώς μικρότερη της μονάδας.

Τέλος κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ακόμη μια παράμετρος, η οποία διευκολύνει την περαιτέρω μελέτη της λειτουργίας των πυρηνικών αντιδραστήρων. Η οποία ορίζεται ως εξής:

$$\eta = \frac{\text{αριθμός νετρονίων που απελευθερώνονται κατά την σχάση}}{\text{αριθμός νετρονίων που απορροφούνται από το σχάσιμο πυρήνα}}$$

4.1.2 Πυρηνικά καύσιμα

Η λειτουργία του πυρηνικού αντιδραστήρα όπως έχουμε προαναφέρει στηρίζεται κυρίως στην αυτοσυντήρητη αλυσιδωτή αντίδραση σχάσης. Όμως όλα τα ισότοπα δεν είναι ικανά να συντηρήσουν μια τέτοια διαδικασία. Για να καταστεί αυτό δυνατό απαιτείται σε κάθε σχάση ο αριθμός των νετρονίων που απελευθερώνονται να είναι τουλάχιστον ίσος με τον αριθμό των νετρονίων που απορροφούνται από τους πυρήνες αυτής ($\eta \geq 1$). Στην ουσία πρέπει να παράγονται περισσότερα νετρόνια από αυτά που την προκάλεσαν, καθώς κάποια από αυτά είτε θα απορροφηθούν από τον αντιδραστήρα είτε θα διαφύγουν εκτός αυτού.

Οπότε λόγω του περιορισμού αυτού ως πυρηνικά καύσιμα καθίστανται οι σχάσιμοι πυρήνες U-233, U-235, Pu -239, Pu-241 καθώς επίσης και τα ισότοπα U238, Pu-240, Pu-242 και το Th-232. Στην πραγματικότητα, όμως, τα περισσότερα νετρόνια επιβραδύνονται με σκεδάσεις σε ενέργειες χαμηλότερες από την απαιτούμενη. Αυτό καθιστά αδύνατη τη σχεδίαση κρίσιμης διάταξης με πυρηνικό καύσιμο.

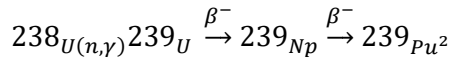
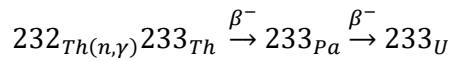
Όσον αφορά τους σχάσιμους πυρήνες Pu -239, Pu-241, U-233, U-235 αν και πληρούν τις προϋποθέσεις μόνο το U-235 βρίσκεται σε αξιόλογες ποσότητες ως συστατικό του φυσικού ουρανίου σε ποσοστό 0,7% κατά βάρος. Το υπόλοιπο φυσικό ουράνιο αποτελείται από U238 σε ποσοστό 99,3% κατά βάρος. Το φυσικό ουράνιο είναι σε θέση να χρησιμοποιηθεί σε ορισμένους τύπους αντιδραστήρων. Ωστόσο, η χαμηλή τιμή του συντελεστή η ($\eta=1,33$) θέτει σημαντικούς περιορισμούς στην επιλογή των υλικών του πυρήνα του αντιδραστήρα, καθώς χρειάζονται μικρές διατομές απορρόφησης των νετρονίων για να είναι δυνατή η υλοποίηση υπερκρίσιμων διατάξεων. Σήμερα, η το μεγαλύτερο ποσοστό των σύγχρονων πυρηνικών αντιδραστήρων χρησιμοποιεί εμπλουτισμένο ουράνιο.

Εμπλουτισμένο (enriched uranium) είναι το ουράνιο που περιέχει U-235 περισσότερο από το 0,7% κατά βάρος του φυσικού ουρανίου. Ο λόγος της μάζας U-235 προς τη μάζα U-235 και U-238 του καυσίμου ονομάζεται εμπλουτισμός του καυσίμου ο οποίος στους σύγχρονους θερμικούς αντιδραστήρες φτάνει μέχρι το 3% περίπου. Με την διεργασία αυτή αυξάνεται ο συντελεστής η του καυσίμου με αποτέλεσμα η επίτευξη κρίσιμων συστημάτων με λιγότερους περιορισμούς στην επιλογή των υλικών της καρδιάς ενός αντιδραστήρα να γίνεται ευκολότερα. Από την άλλη οι χώρες που δεν έχουν τις απαιτούμενες εγκαταστάσεις και τεχνογνωσία εμπλουτισμού εκτός ότι το κόστος είναι μεγάλο δημιουργεί και εξαρτήσεις από άλλα κράτη.

Εντούτοις στους θερμικούς αντιδραστήρες ουρανίου χρησιμοποιείται μικρό ποσοστό του φυσικού ουρανίου. Θεωρητικά, το ποσό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι το άθροισμα U-235 και του Pu-239 που παρήχθη από U-238. Αυτό, ως σε αντιδραστήρες φυσικού ουρανίου και ~2% σε αντιδραστήρες εμπλουτισμένου ουρανίου. Στην πράξη όμως οι τιμές είναι ακόμη χαμηλότερες, περίπου στο μισό των θεωρητικών.

Ένα ακόμη πρόβλημα είναι η περιορισμένη ποσότητα του διαθέσιμου ουρανίου U-235. Υπολογίζεται πως αν η πυρηνική ενέργεια στηριζόταν αυτού καθαυτού στη σχάση ουρανίου U-235, τότε ο χρόνος χρήσης δεν θα διαρκούσε περισσότερο από ένα αιώνα. Η διαδικασία μετατροπής (conversion) έδωσε την λύση σε αυτό το πρόβλημα στην ουσία επιτρέπει να

παράγουμε σχάσιμα ισότοπα από μη σχάσιμα υλικά. Τα σημαντικότερα ισότοπα που παράγονται τεχνητά είναι το ουράνιο U-233 και το πλουτώνιο Pu-239. Οι πυρήνες αυτοί προκύπτουν από το θόριο Th-232 και το ουράνιο U-238 μέσω της απορρόφησης νετρονίων:



Οι γόνιμοι πυρήνες είναι αυτοί που μετασχηματίζονται σε σχάσιμους με την απορρόφηση νετρονίων, όπως το Th-232 και το U-238. Παρ' όλα αυτά, το μέγιστο ποσοστό του καυσίμου εξακολουθεί να είναι το U-238, σε περιεκτικότητα υψηλότερη από 97% και μετά τη διαδικασία εμπλουτισμού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, σε όλους τους αντιδραστήρες ουρανίου να πραγματοποιείται μετατροπή του U-238 σε σχάσιμο Pu-239.

Για να περιγραφεί η διαδικασία μετατροπής καλείται λόγος μετατροπής (conversion ratio) που ορίζεται ως εξής:

$$CR = \frac{\text{μέσος ρυθμός παραγωγής σχάσιμων πυρήνων}}{\text{μέσος ρυθμός καταστροφής σχάσιμων πυρήνων}}$$

Στην ουσία, ο δείκτης αναφέρει πως για κάθε N άτομα καυσίμου που καταναλώνονται, $N \times CR$ άτομα γόνιμου υλικού μετατρέπονται σε σχάσιμο. Έτσι, στην επόμενη επανάληψη της διαδικασίας θα πάρουμε $(N \times CR) \times CR = N \times CR^2$ άτομα σχάσιμου υλικού, στην τρίτη επανάληψη $N \times CR^3$ κ.ο.κ. Άρα ο ρυθμός παραγωγής σχάσιμων πυρήνων ακολουθεί, μια γεωμετρική πρόοδο:

$$NCR + NCR^2 + NCR^3 + \dots = \frac{NCR}{1 - CR}$$

Δεδομένου, ότι $CR < 1$ οι αντιδραστήρες φυσικού ουρανίου είναι $CR \cong 0,83$ ενώ για εκείνους που χρησιμοποιούν εμπλουτισμένο ουράνιο ισχύει $CR \leq 0,65$.

Στην περίπτωση που $CR > 1$ τότε ο αντιδραστήρας θα παρήγαγε περισσότερο σχάσιμο υλικό από αυτό που κατανάλωνε. Τέτοιοι αντιδραστήρες είναι οι αναπαραγωγικοί αντιδραστήρες (breeder reactors or breeders) και έχουν ως λόγο μετατροπής τον λόγο αναπαραγωγής (breeding ratio). Υπάρχουν οι αντιδραστήρες μετατροπής (converters) οι οποίοι μετατρέπουν αλλά δεν αναπαράγουν. Για το σχεδιασμό ενός αντιδραστήρα για μετατροπή

απαιτείται $\eta > 1$, ενώ για το σχεδιασμό ενός αναπαραγωγικού θερμικού αντιδραστήρα χρειάζεται $\eta > 2$.

Ο χρόνος διπλασιασμού στον αντιδραστήρα (D_R) κατέχει σημαντικό ρόλο στους αναπαραγωγικούς αντιδραστήρες και ορίζεται ως το διάστημα που απαιτείται για να παράγει ο αντιδραστήρας ποσότητα σχάσιμου υλικού ίση με την αρχική ποσότητα που χρειάζεται ο ίδιος για τη συνεχή λειτουργία του. Στην ουσία ποσότητα ικανή για τη συνέχιση της λειτουργίας του καθώς επίσης και επιπλέον ποσότητα σχάσιμου υλικού ικανή για την εκκίνηση ενός άλλου ίδιου αντιδραστήρα. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως ο λόγος αναπαραγωγής, η θερμική του απόδοση, η ισχύς του αντιδραστήρα, κτλ.

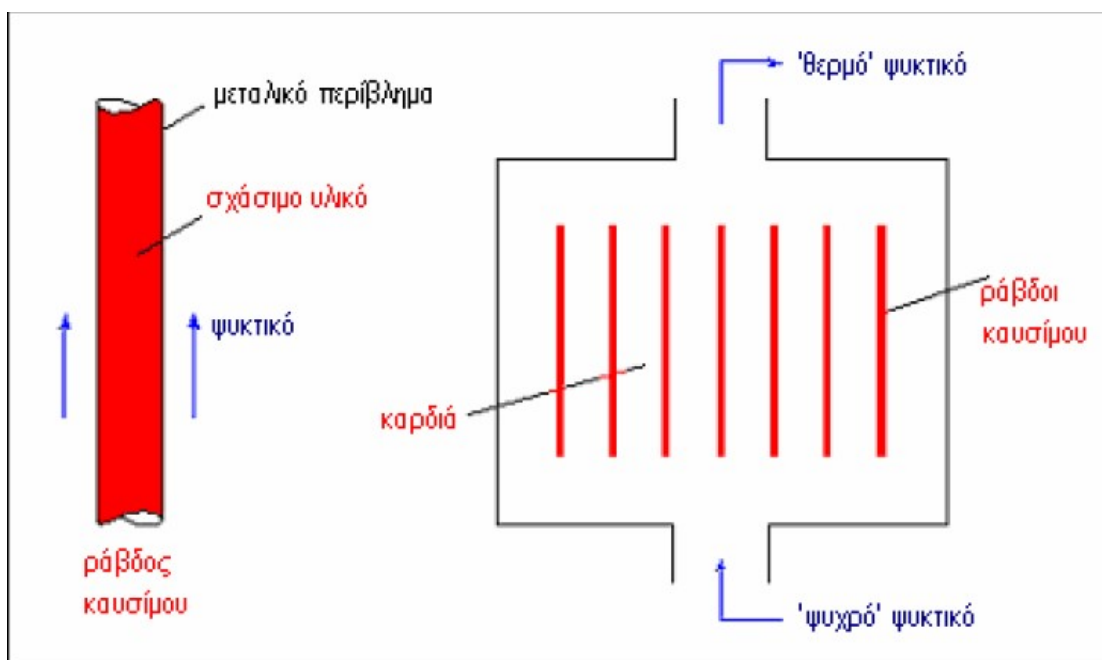
Οι προαναφερθείσες προδιαγραφές πληρούνται από τους αντιδραστήρες ταχέων νετρονίων (fast reactors). Στους οποίους η πλειοψηφία των σχάσεων πραγματοποιείται με νετρόνια ενέργειας από 100keV έως ~15MeV γνωστά και ως ταχέα νετρόνια. Ο συντελεστής η είναι σημαντικά μεγαλύτερος από 2, οπότε η αναπαραγωγή είναι πρακτικά υλοποιήσιμη. Οι αντιδραστήρες αυτοί απαιτούν εμπλουτισμένο καύσιμο κατά 20% περισσότερο για τη λειτουργία τους, ενώ για τη σχεδίαση τους χρειάζεται υλικά με μεγάλο μαζικό αριθμό προκειμένου να περιοριστεί η επιβράδυνση των νετρονίων.

4.1.3 Διάταξη και λειτουργία πυρηνικού αντιδραστήρα

Αρχικά θα αναφερθούν τα κύρια δομικά στοιχεία των πυρηνικών αντιδραστήρων και οι βασικές τους λειτουργίες. Πυρηνικός αντιδραστήρας είναι μια διάταξη κατάλληλη σχεδιασμένη ώστε να πραγματοποιεί ελεγχόμενη αυτοσυντήρητη αλυσιδωτή αντίδραση σχάσης. Το μέρος που πραγματοποιούνται οι σχάσεις αποτελεί την καρδιά ή αλλιώς πυρήνα του αντιδραστήρα και περικλείει τον επιβραδυντή, τις ράβδους καυσίμου και τις ράβδους ελέγχου. Στους αντιδραστήρες ταχέων νετρονίων δεν υπάρχει επιβραδυντής. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη λειτουργία κάθε αντιδραστήρα είναι η ύπαρξη κάποιου πυρηνικού καυσίμου και αναφέρεται στο υλικό που περιέχει τους σχάσιμους πυρήνες το οποίο μπορεί να περιέχει και μεγάλες ποσότητες γόνιμου υλικού. Υπεύθυνο τόσο για τη αυτοσυντήρηση της αλυσιδωτής διαδικασίας σχάσεων, όσο και για τη διατήρηση της κρισιμότητας του συστήματος είναι το σχάσιμο υλικό του πυρήνα. Στις μέρες μας η πλειοψηφία των σύγχρονων πυρηνικών αντιδραστήρων (θερμικοί αντιδραστήρες) το καύσιμο είναι εμπλουτισμένο ουράνιο και βρίσκεται μέσα σε δίσκία τα οποία συγκρατούν τα στερεά προϊόντα της σχάσης τοποθετημένα σε μεταλλικό κυλινδρικό περίβλημα. Η

χρήση αυτού διασφαλίζει τον περιορισμό των ραδιενεργών προϊόντων της σχάσης στο εσωτερικό του και την ελαχιστοποίηση διαρροών ραδιενεργών υλικών που μαζί με το ίδιο το καύσιμο αποτελούν τη ράβδο καυσίμου. Κάθε αντιδραστήρα περιέχει περισσότερες από μία ράβδους καυσίμου, οι οποίες είναι οργανωμένες σε συστάδες και περιέχουν το σύνολο του σχάσιμου υλικού από το οποίο πραγματοποιούνται οι σχάσεις. Με τον όρο συστάδα καυσίμου εννοούμε το σύνολο των ράβδων καυσίμου που είναι τοποθετημένες σε ένα ενιαίο συγκρότημα με την απαιτούμενη δομή.

Ο επιβραδυντής χρησιμοποιείται επί τον πλείστον στους θερμικούς αντιδραστήρες για την επιβράδυνση των ταχέων νετρονίων. Αποτελείται από ράβδους γραφίτη που εσωκλείουν τις ράβδους καυσίμου. Η διάταξη αυτή έχει σκοπό την «εξουδετέρωση» των νετρονίων που κυκλοφορούν μέσα στον αντιδραστήρα προκειμένου είτε να σταματήσει, είτε να πραγματοποιείται η σχάση στον επιθυμητό ρυθμό. Σκοπός αυτής της διεργασίας ο έλεγχος της αλυσιδωτής αντίδρασης σχάσης. Διαφορετικά το πυρηνικό υλικό που περιέχεται στον αντιδραστήρα θα συνέχιζε να αντιδρά ταχύτατα εκλύοντας τεράστια ποσά ενέργειας.



Σχήμα 4.1: Σχηματικό διάγραμμα απαγωγής θερμότητας από την καρδιά του αντιδραστήρα [27].

Οι ράβδοι ελέγχου πρόκειται για κινούμενα μέρη από υλικό κατάλληλο για την απορρόφηση των νετρονίων. Χρησιμοποιούνται για να ρυθμίζουν την παροχή των νετρονίων για διάσπαση. Πιο συγκεκριμένα, καθώς απορροφούν νετρόνια, κάθε κίνηση τους μεταβάλλει

το k του αντιδραστήρα. Όταν οι ράβδοι ελέγχου προωθούνται αρκετά, ο συντελεστής k μειώνεται κι ο αριθμός των σχάσεων περιορίζεται καθώς απορροφούν τα περισσότερα από τα νετρόνια διάσπασης. Ενώ όταν οι ράβδοι ελέγχου αποσύρονται, όλο και περισσότερα νετρόνια διάσπασης είναι διαθέσιμα, ο συντελεστής k αυξάνεται και η ένταση της αλυσιδωτής αντίδρασης αυξάνεται επίσης. Οπότε, με την εξαγωγή ή την εισαγωγή των ράβδων ελέγχου, επισπεύδει η έναρξη κι η διακοπή λειτουργίας του αντιδραστήρα αντίστοιχα και προσαρμόζοντας την παραγόμενη ισχύ στα επιθυμητά επίπεδα. Οι ράβδοι ελέγχου είναι υπεύθυνοι και για την κρισιμότητα του συστήματος, διατηρώντας το επίπεδο παραγωγής σε σταθερό επίπεδο, την στιγμή που το καύσιμο καταναλώνεται και τα προϊόντα της σχάσης αυξάνονται στην καρδιά. Τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή των ράβδων ελέγχου είναι τα εξής: άφνιο ή κάδμιο, χάλυβας βορίου, ασήμι καθώς και διάφορα κράματα των παραπάνω μετάλλων.

Περιμετρικά από κάθε ράβδο καυσίμου κυκλοφορεί κάποιο ψυκτικό (νερό, υγρό νάτριο, ήλιο, βαρύ ύδωρ, διοξείδιο του άνθρακα, κλπ.) με σκοπό την απελευθέρωση τεράστιων ποσών θερμότητας που απελευθερώνονται σε κάθε σχάση. Η θερμότητα που παράγεται οδηγείται έξω από την καρδιά του αντιδραστήρα στον εναλλάκτη θερμότητας χάρη σε αυτό το σύστημα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Αν χρησιμοποιείται νερό ή βαρύ ύδωρ, το ψυκτικό χρησιμοποιείται κι ως επιβραδυντής. Το νερό και το βαρύ ύδωρ δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ψυκτικά σε αντιδραστήρες ταχέων νετρονίων τουλάχιστον σε υγρή μορφή, καθώς τα υλικά αυτά τείνουν να επιβραδύνουν τα νετρόνια σχάσης, τα οποία πρέπει να διατηρούν υψηλά επίπεδα ενέργειας. Συνηθίζεται η χρήση υγρού νατρίου σε αυτές τις διατάξεις.

Να επισημανθεί πως στους αναπαραγωγικούς αντιδραστήρες, γύρω από την καρδιά του αντιδραστήρα υπάρχει μια περιοχή που καλείται μανδύας επώασης και είναι ειδικά σχεδιασμένος για μετατροπή ή αναπαραγωγή. Στην ουσία, τα νετρόνια που διαφεύγουν από τον πυρήνα του αντιδραστήρα εισέρχονται στον μανδύα επώασης τα οποία συμβάλουν στις αντιδράσεις μετατροπής. Στην πράξη η περιοχή αυτή ψύχεται όπως και η καρδιά, καθώς υπάρχει η πιθανότητα ταχέα νετρόνια να απομακρυνθούν από την καρδιά και να εισέλθουν στο μανδύα επώασης προκαλώντας σχάσεις και μεγάλα ποσά ενέργειας.

Ο ανακλαστής περικλείει τον μανδύα επώασης σκοπός αυτού του υλικού είναι η μείωση των απωλειών με την ανάκλαση των νετρονίων που απομακρύνονται από τον πυρήνα του αντιδραστήρα προκειμένου να επιστρέψουν σε αυτόν. Το υλικό του ανακλαστή πρέπει να αποτελείται από μικρή διατομή απορρόφησης και μεγάλη διατομή σκέδασης των νετρονίων. Για το λόγο αυτό τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι σχεδόν τα ίδια.

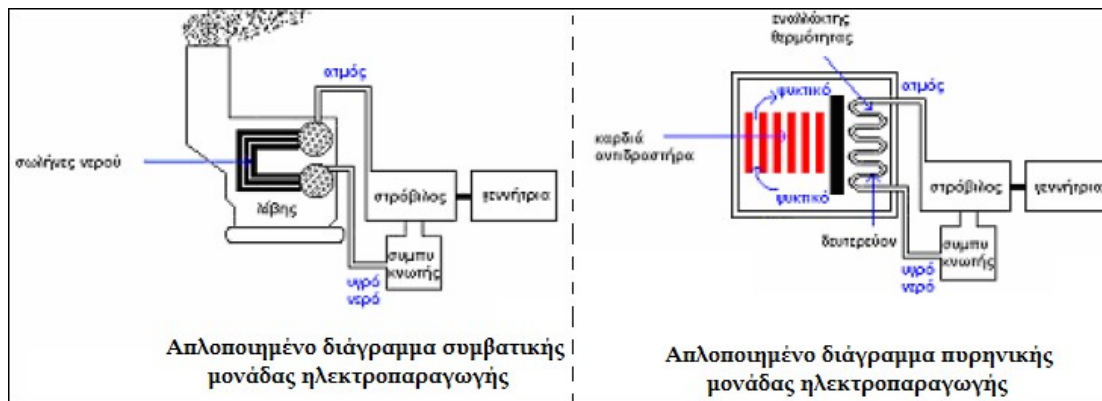
Στα υλικά γύρω από την καρδιά δημιουργούνται πηγές θερμότητας με αποτέλεσμα την ανάπτυξη διαφορετικών θερμικών τάσεων και την καταπόνηση των υλικών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μεταξύ της καρδιάς και των εξαρτημάτων του αντιδραστήρα παρεμβάλλεται σιδηρό ή χαλύβδινο έλασμα με σκοπό την απορρόφηση των ακτινοβολιών και τη μείωση της έντασης τους για την προστασία των υλικών, το έλασμα αυτό ονομάζεται θερμική θωράκιση.

Όλα τα παραπάνω βρίσκονται σε ένα δοχείο υπό πίεση και για αυτό καλείται δοχείο πίεσης. Ακόμα, για την προστασία των εργαζομένων στα πυρηνικά εργοστάσια με την μείωση των ακτινοβολιών το δοχείο αυτό περιβάλλεται από ένα είδος βιολογικής θωράκισης. Ως επί το πλείστον, η θωράκιση αυτή είναι νερό ή σκυρόδεμα πάχους μερικών μέτρων.

Εν τέλει, τα άλλα εξαρτήματα που περιέχουν πηγές ραδιενέργειας, περιβάλλονται από το δοχείο εγκλωβισμού. Στην ουσία ένα δοχείο κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους μεγαλύτερου του ενός μέτρου και εσωτερική επένδυση στεγανό χαλύβδινο έλασμα. Αυτό συμβάλλει στην προστασία από τη διαρροή επικίνδυνων υλικών στο περιβάλλον σε περίπτωση ατυχήματος ακόμη και κάτω από ακραίες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Συνήθως η πίεση εντός του δοχείου είναι ελάχιστα υψηλότερη από την ατμοσφαιρική προκειμένου να αποφευχθούν διαρροές αέρα προς το περιβάλλον. Τέλος να αναφερθεί πως επειδή το προσωπικό έρχεται συνεχώς σε επαφή με τον χώρο αυτόν ελέγχεται συστηματικά από ανιχνευτές ώστε να διασφαλίζεται πως δεν υπάρχουν αιωρούμενα ραδιενεργά σωματίδια [27].

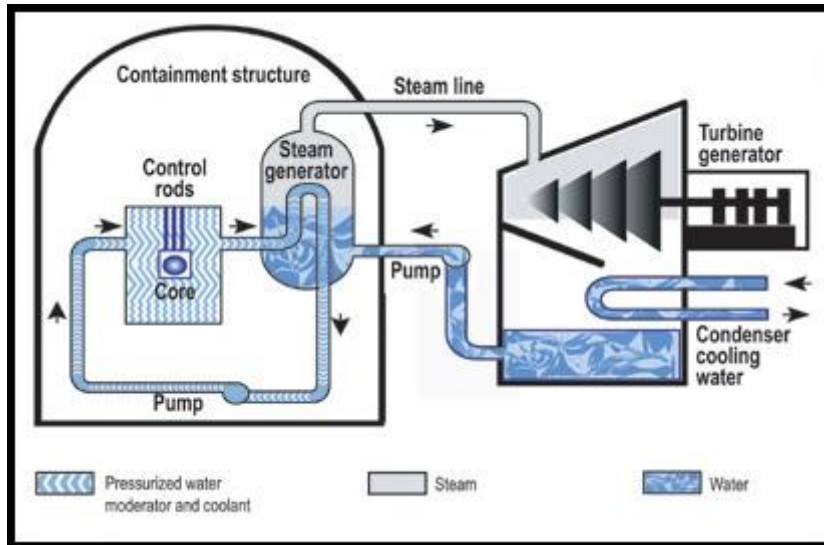
4.1.4 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνικό σταθμό

Ο κύκλος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στους πυρηνικούς σταθμούς είναι της ίδιας λογικής με εκείνον των συμβατικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στην πράξη η διαφορά, η οποία φαίνεται και στο Σχήμα 4.2, η αντικατάσταση του λέβητα από τον πυρηνικό αντιδραστήρα, ο οποίος παράγει την απαραίτητη θερμική ενέργεια που χρειάζεται για την παραγωγή ατμού.



Σχήμα 4.2: Διαγράμματα συμβατικής και πυρηνικής μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [27]

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού από την ενέργεια, που απελευθερώνεται από τη σχάση στον αντιδραστήρα είτε με τη μεσολάβηση ενός εναλλάκτη θερμότητας μεταξύ της καρδιάς του αντιδραστήρα και του ατμοστροβίλου (έμμεσος θερμοδυναμικός κύκλος) είτε απευθείας (άμεσος θερμοδυναμικός κύκλος). Στον έμμεσο θερμοδυναμικό κύκλο, γίνεται χρήση της ράβδου καυσίμου για τη θέρμανση ψυκτικού υγρού το οποίο βγαίνει από την καρδιά του αντιδραστήρα σε πολύ υψηλή πίεση και θερμοκρασία στην συνέχεια οδηγείται σε έναν εναλλάκτη θερμότητας, όπως απεικονίζεται στο διάγραμμα του Σχήματος 4.3. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η μεταφορά της θερμότητας στο κύκλωμα νερού. Στην ουσία το ψυκτικό της καρδιάς επιστρέφει στην είσοδο της καρδιάς για την πραγματοποίηση της ψύξης και την επανάληψη του κύκλου καθώς βγαίνει από τον εναλλάκτη σχετικά πιο ψυχρό. Την ίδια στιγμή, από το βρασμό του νερού στην έξοδο του δευτερεύοντος συστήματος ψύξης παράγεται ατμός που οδηγείται στο στρόβιλο και τον κινεί. Αφού αρχίσει να κινείται ο στρόβιλος ο ατμός οδηγείται στο ψυγείο όπου υγροποιείται και κατευθύνεται και πάλι στην είσοδο για τον επόμενο κύκλο. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται ακριβώς και στον άμεσο θερμοδυναμικό κύκλο με τη διαφορά ότι το ψυκτικό είναι νερό και η παραγωγή ατμού γίνεται με το βρασμό του ίδιου του ψυκτικού στην καρδιά του αντιδραστήρα. Αμέσως μετά ο ατμός οδηγείται από την έξοδο της καρδιάς απευθείας στην είσοδο του ατμοστροβίλου.



Σχήμα 4.3: Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας πυρηνικής μονάδας ηλεκτροπαραγωγής [28]

Στον πυρηνικό αντιδραστήρα η παραγωγή θερμότητας μέσα στις ράβδους καυσίμου χωρίς να υπάρχει κάποιος πρακτικός περιορισμός ως προς τη δυνατότητα θερμικής ισχύος. Στην ουσία, αν ο αντιδραστήρας παρουσιάσει μια μη ελεγχόμενη αύξηση της ισχύς είτε κάποια μείωση της ροής του ψυκτικού θα είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας στις ράβδους καυσίμου του αντιδραστήρα. Όμως αν η θερμοκρασία υπερβεί το σημείο τήξης του περιβλήματος της ράβδου, οι συνέπειες οδηγούν σε ατύχημα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να γίνονται συστηματικοί έλεγχοι και οι προδιαγραφές ασφάλειας για το σύστημα ψύξης και τις αντοχές των υλικών στα πυρηνικά εργοστάσια είναι ιδιαίτερα αυστηρές [28].

4.2 Εξέλιξη πυρηνικών τεχνολογιών

Οι τύποι αντιδραστήρων διακρίνονται ανάλογα με την τεχνολογία, την παραγόμενη ισχύ και την λειτουργία τους. Στην πρώτη κατηγορία αντιδραστήρων βρίσκονται οι πειραματικοί αντιδραστήρες. Οι πειραματικοί αντιδραστήρες αναφέρονται στους θερμικούς αντιδραστήρες με μικρή ισχύ που κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες W έως μερικές δεκάδες MW και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ραδιοϊσοτόπων και για ερευνητικούς σκοπούς. Συνήθως η θερμική τους ισχύς δεν χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για αυτό και παραλείπονται.

Πυρηνικοί αντιδραστήρες ισχύος (Nuclear Power Reactor) είναι οι αντιδραστήρες με

μεγάλη θερμική ισχύ. Συνήθως χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για την πρόωση πλοίων και υποβρυχίων, για βιομηχανικές εφαρμογές καθώς επίσης και για τη θέρμανση πόλεων.

Οι παραπάνω αντιδραστήρες διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το σύστημα ψύξης που χρησιμοποιούν: στους υδρόψυκτους και τους αεριοψυκτους. Οι υδρόψυκτοι αντιδραστήρες χρησιμοποιούν νερό ως ψυκτικό, ενώ οι αεριοψυκτοι χρησιμοποιούν αέρια ψυκτικά.

Τέλος αναφέρεται πως όλοι οι αντιδραστήρες που μελετάμε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι πυρηνικοί αντιδραστήρες σχάσης. Εκτός αυτών υπάρχουν και οι αντιδραστήρες, οι οποίοι στηρίζονται στο φαινόμενο της πυρηνικής σύντηξης και ονομάζονται πυρηνικοί αντιδραστήρες σύντηξης.

4.2.1 Εξέλιξη πυρηνικών αντιδραστήρων

Συνήθως γίνεται κατηγοριοποίηση των αντιδραστήρων σε γενιές (γενιά I, II, III, III+ και IV). Οι γενιές αυτές έχουν να κάνουν με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν. Οι αντιδραστήρες που αναφέρονται παρακάτω περιγράφονται πιο αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

- **Γενιά I**

Αποτελείται από τους πρώτους πυρηνικούς αντιδραστήρες που αναπτύχθηκαν κυρίως τη δεκαετία του '50 και του '60. Ως επί το πλείστον αναφέρονται σε αεριοψυκτους αντιδραστήρες τύπου Magnox. Οι πρώτοι αντιδραστήρες που σχεδιάστηκαν κι υλοποιήθηκαν, όπως ο Shippingport(1975-1982) στην Πενσυλβανία, ο Dresden-I (1960-1978) στο Illinois και ο Calder Hall (1956-2003) στο Ηνωμένο Βασίλειο ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία. Η τελευταία εγκατάσταση που καταγράφηκε για τέτοιου τύπου αντιδραστήρες τέθηκε εκτός λειτουργίας το Δεκέμβριο του 2012 στην Ουαλία ο πυρηνικός σταθμός Wylfa.

- **Γενιά II**

Η εμπορική χρήση των πυρηνικών αντιδραστήρων καθώς και η ανάγκη για αξιοπιστία και οικονομική λειτουργία οδήγησε στην επόμενη γενιά. Αναπτύχθηκαν στο τέλος της δεκαετίας του '60 οι αντιδραστήρες δεύτερης γενιάς με προσδόκιμο χρόνο λειτουργίας τα 40 έτη οι οποίοι περιλάμβαναν τους αντιδραστήρες βαρέως ύδατος (Heavy Water

Reactors, CANDU), ελαφρού ύδατος (Light Water Reactors – PWR, LWR, BWR), και τους αντιδραστήρες AGR(Advanced Cooled Reactors). Στην κατηγορία αυτή ανήκει η πλειονότητα των εν ενεργεία σταθμών πυρηνικής ενέργειας.

Οι αντιδραστήρες της γενιάς αυτής χρησιμοποιούν κυρίως παραδοσιακά συστήματα ασφαλείας τα οποία περιλαμβάνουν ηλεκτρικές και μηχανικές λειτουργίες που εκκινούν αυτόματα αλλά μπορούν να τεθούν σε λειτουργία κι από τους χειριστές των πυρηνικών αντιδραστήρων. Κάποια από τα μηχανικά συστήματα ενεργούν παθητικά και λειτουργούν χωρίς την ανάγκη χειρισμού ή απώλειας ισχύος.

▪ Γενιά III

Οι αντιδραστήρες της τρίτης γενιάς είναι παρόμοιοι με εκείνους της δεύτερης, αλλά και πάλι λόγω αυξημένων απαιτήσεων και οικονομίας δέχτηκαν βελτίωση. Συγκεκριμένα οι αλλαγές εμφανίζονται στην τεχνολογία καυσίμου, τη θερμική απόδοση, στη διαμόρφωση των κατασκευών, τα συστήματα ασφαλείας καθώς επίσης και στην τυποποίηση του σχεδιασμού. Ως επί το πλείστον τα συστήματα αυτά ενώ ο σχεδιασμός τους στηρίζεται στο σχεδιασμό απλών διατάξεων για την διατηρήσει χαμηλού κόστους κατασκευής χρησιμοποιούν προηγμένα συστήματα ασφάλειας.

Ο χρόνος λειτουργίας των αντιδραστήρων τρίτης γενιάς αποτιμάτε στα 60 χρόνια, με τη δυνατότητα επέκτασης του. Ωστόσο η παράταση της λειτουργίας σε διάστημα μεγαλύτερο των 60 χρόνων χρήζει μια σειρά από έρευνες που να εξασφαλίζουν την αξιοπιστία της διάταξης.

Σε αυτήν την γενιά ανήκουν οι προηγμένοι PWR (AP-600) και οι προηγμένοι αντιδραστήρες ζέοντος ύδατος (Advanced Boiling Water Reactors – ABWR). Οι πρώτοι αντιδραστήρες που τέθηκαν σε λειτουργία είναι στην Ιαπωνία το 1996. Τέλος, σε αυτή τη κατηγορία συγκαταλέγονται και οι αντιδραστήρες πετρεσμένου ύδατος του τύπου System 80+, οι αντιδραστήρες Enhanced CANDU 6 κλπ. Ο αριθμός των αντιδραστήρων που είναι σε λειτουργία είναι 4 και είναι όλοι ABWR.

▪ Γενιά III+

Η επόμενη γενιά που δημιουργήθηκε είναι η γενιά III+, η οποία χαρακτηρίζεται από σημαντικές βελτιώσεις στο επίπεδο ασφαλείας σε σχέση με την τρίτη. Συγκεκριμένα αυτή η γενιά αποτελείται από AP1000, European Pressurized Reactor(EPR), Economic Simplified Boiling Water Reactor (ESBWR), APR-1400, APWR (Advanced PWR), VVER-1200/329M

Reactor, Advanced CANDU Reactor (ACR-1000), EU-ABWR. Η ανάπτυξη αυτών άρχισε στις αρχές της δεκαετίας του '90. Σε σχέση με τους προηγούμενους, τα συστήματα επιτυγχάνουν μεγαλύτερη εξάντληση καυσίμου αυτό έχει σαν αποτέλεσμα λιγότερα απόβλητα. Εν τέλει όμως η σημαντικότερη βελτίωση των αντιδραστήρων αυτών είναι η ενσωμάτωση παθητικών συστημάτων που δεν απαιτούν παρέμβαση από χειριστή ή ενεργό έλεγχο, αλλά στηρίζονται αυτού καθαυτού στη βαρύτητα ή τη φυσική διάδοση θερμότητας για την εξάλειψη βλάβης ή ατυχήματος.

▪ Γενιά IV

Οι αντιδραστήρες του μέλλοντος αν και η ανάπτυξη τους εκτιμάται πως απαιτεί μερικές δεκαετίες ακόμα, κάποια μοντέλα πιθανώς να είναι έτοιμα πριν το 2020. Οι αντιδραστήρες της τέταρτης γενιάς συγκεντρώνουν όλα τα χαρακτηριστικά της III+ γενιάς κι είναι σχεδιασμένα για την καλύτερη δυνατή διαχείριση καυσίμου με υψηλότερο βαθμό εξάντλησης και αναπαραγωγή του εξαντλημένου ουρανίου. Ακόμα να αναφερθεί πως μπορούν να λειτουργούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες από το σύνολο των σύγχρονων συστημάτων καθώς επίσης χρησιμοποιούν και συστήματα πλήρους ανακύκλωσης των ακτινίων τα οποία είναι και τα πιο επικίνδυνα ραδιενεργά απόβλητα. Εν κατακλείδι, η τέταρτη γενιά πυρηνικών αντιδραστήρων υπόσχεται αυξημένη λειτουργική ασφάλεια, τη αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των πυρηνικών αποβλήτων για ηλεκτροπαραγωγή, την παραγωγή πολλαπλάσιας ποσότητας ενέργειας μέχρι 300 φορές περισσότερη ενέργεια από την ίδια ποσότητα καυσίμου καθώς επίσης και τη μείωση του διαστήματος κατά το οποίο τα πυρηνικά απόβλητα παραμένουν ενεργά σε μερικούς μόνο αιώνες. Συγκεκριμένα στη τέταρτη γενιά περιλαμβάνονται αντιδραστήρες υψηλής και υπερύψηλης θερμοκρασίας, αντιδραστήρες με ψύξη υγρού μετάλλου, αντιδραστήρες τετηγμένου άλατος, αντιδραστήρες που λειτουργούν με χρήση υπερκρίσιμου νερού, αερίψυκτοι αντιδραστήρες ταχέων νετρονίων. Τέλος να αναφερθεί πως περιλαμβάνονται και οι καινοτόμοι σχεδιασμοί όπως αντιδραστήρες μετάδοσης κύματος, οι οποίοι μέσω της πυρηνικής μεταστοιχείωσης μετατρέπουν το γόνιμο σε σχάσιμο υλικό.

4.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά πυρηνικού σταθμού

4.3.1 Αντιδραστήρες Ελαφρού Ύδατος

Είναι η πιο διαδεδομένη κατηγορία αντιδραστήρων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Χρησιμοποιήθηκαν ευρέως στις ΗΠΑ και τη Γαλλία και έχουν υποστεί πολλές βελτιώσεις τα τελευταία χρόνια οι οποίες αύξησαν σημαντικά την αποδοτικότητά τους, δίνοντας προβάδισμα έναντι των αντίστοιχων Βρετανικών συστημάτων AGR.

Συγκεκριμένα είναι θερμικοί αντιδραστήρες που χρησιμοποιούν νερό ως επιβραδυντή, ανακλαστή και ψυκτικό. Το H_2O είναι ισχυρός επιβραδυντής με μια σχετικά μικρή διαδρομή των ταχέων νετρονίων μέσα στο νερό αρκεί για να γίνουν θερμικά. Η σχεδίαση τέτοιων αντιδραστήρων με σχετικά μικρό όγκο πυρήνα και κατ' επέκταση χαμηλό κόστος της καρδιάς και δυνατότητα κατασκευής του δοχείου πίεσης σε οποιαδήποτε περιοχή. Ο μικρός όγκος της καρδιάς έχει παίζει καθοριστική σημασία για κάποιες εφαρμογές όπως η πρόωση των υποβρυχίων στα οποία χρησιμοποιούνται αντιδραστήρες πεπιεσμένου ύδατος (Pressured Water Reactors – PWR).

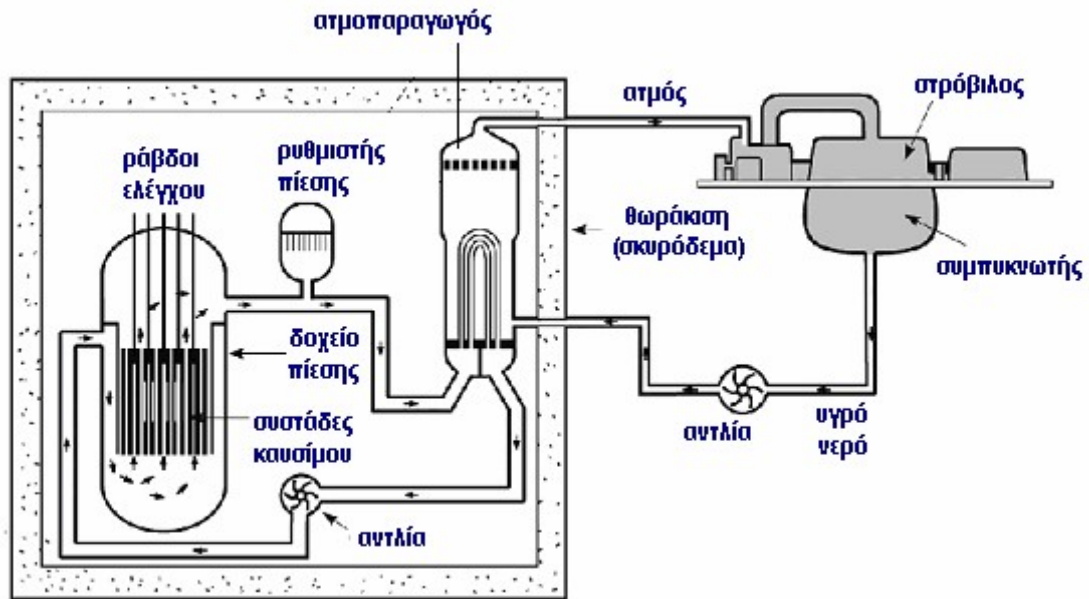
Ωστόσο απαιτούνται υψηλές πιέσεις στο κύκλωμα του νερού για την αποφυγή βρασμού καθώς με την αύξηση της πίεσης το σημείο βρασμού αυξάνεται σημαντικά. Επίσης απαιτείται η χρήση εμπλουτισμένου ουρανίου. Αυτό συνεπάγεται και μεγάλο κόστος καυσίμου. Στους σύγχρονους αντιδραστήρες ελαφρού ύδατος (Light Water Reactors – LWR), ο εμπλουτισμός του καυσίμου φθάνει το περίπου το 3%. Για την μείωση του κόστους κατασκευής, απαιτείται ο λόγος του όγκου H_2O προς τον όγκο καυσίμου να παραμένει μικρός, για να περιοριστεί και το ποσοστό των απορροφήσεων των νετρονίων από το νερό. Στην πράξη το H_2O λειτουργεί ως επιβραδυντής αλλά κι ως ψυκτικό της καρδιάς, αφού δεν υπάρχει διαθέσιμος χώρος για ξεχωριστό κύκλωμα ψυκτικού. Εν τέλει, δημιουργούνται σημαντικές απαιτήσεις ασφαλείας από τη σχετική ευκολία μετάβασης του νερού από την υγρή στην αέρια φάση.

Σήμερα, υπάρχουν οι αντιδραστήρες πεπιεσμένου ύδατος και οι αντιδραστήρες ζέοντος ύδατος. Οι προαναφερθέν τύποι αντιδραστήρων εγκαθίστανται σε πυρηνικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, διότι το κόστος λειτουργίας είναι συγκρίσιμο με τις συμβατικές μονάδες.

4.3.1.1 Αντιδραστήρες Πεπιεσμένου Ύδατος

Οι αντιδραστήρες πεπιεσμένου ύδατος αποτελεί τον πιο διαδεδομένο τύπο αντιδραστήρα η οποίοι κατασκευάζονται μέχρι και σήμερα. Ξεκίνησαν από τις Ηνωμένες Πολιτείες και τη Σοβιετική ένωση για την πρόωση υποβρυχίων, αλλά πλέον παράγονται σε αρκετές χώρες πέραν των πρώτων. Στους αντιδραστήρες πεπιεσμένου ύδατος PWR, το

νερό χρησιμοποιείται τόσο ως επιβραδυντής όσο κι ως ψυκτικό.



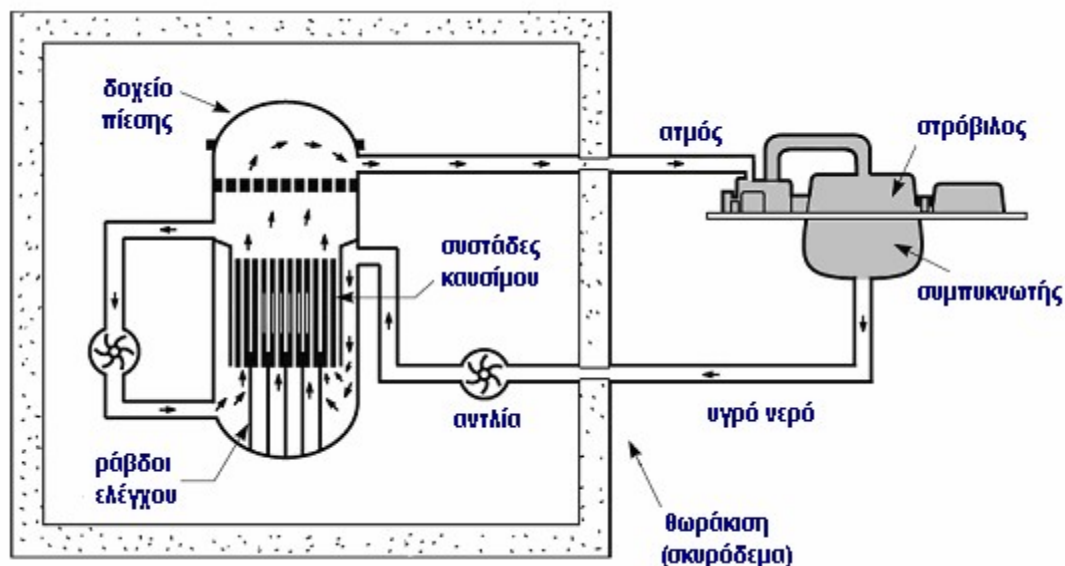
Σχήμα 4.4: Σχηματικό διάγραμμα αντιδραστήρα πεπιεσμένου ύδατος (PWR) [27]

Οι αντιδραστήρες αυτοί χρησιμοποιούν εναλλάκτες θερμότητας δηλαδή ακολουθούν τον έμμεσο θερμοδυναμικό κύκλο. Παράγουν ηλεκτρική ισχύ από 900-1450MW, με βαθμό απόδοσης 32%. Η διάμετρο και ύψος της καρδιάς είναι περίπου 3,5m και ολόκληρο το πρωτεύον κύκλωμα συμπεριλαμβανομένων και των ατμοπαραγωγών περιβάλλεται από βιολογική θωράκιση, κατασκευασμένη από σκυρόδεμα. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα της σχήμα 4.4, το νερό εισέρχεται στο δοχείο πίεσης σε θερμοκρασία 290°C, ρέει εξωτερικά της καρδιάς όπου λειτουργεί σαν ανακλαστής και εν τέλει περνάει διαμέσου της όπου θερμαίνεται κι εξέρχεται από το δοχείο πίεσης με θερμοκρασία κοντά στους 325°C. Η πίεση του νερού σε αυτούς τους αντιδραστήρες διατηρείται σε υψηλά επίπεδα(περίπου 150 atm), ώστε να αποφεύγεται ο βρασμός στην καρδιά.

Το καύσιμο σε αυτούς τους αντιδραστήρες είναι κυρίως UO_2 με εμπλουτισμό περίπου 3-4% ή οξείδιο ουρανίου-πλουτωνίου MO_x . Συνήθως απαιτείται για τη λειτουργίας τους είναι περίπου 100 τόνοι και η τοποθέτηση γίνεται σε ράβδους καυσίμου που περιβάλλονται από ανοξειδωτο ασάλι ή κράμα ζirkονίου. Κάθε συστάδα καυσίμου αποτελείται από 225 ράβδους από τις οποίες οι 200 περίπου περιέχουν καύσιμο ενώ οι άλλες χρησιμοποιούνται ως οδηγοί ελέγχου [27].

4.3.1.2 Αντιδραστήρες Ζέοντος Ύδατος

Αντιδραστήρες άμεσου κύκλου, όπου το ψυκτικό ύδωρ βράζει και ο ατμός παράγεται στην καρδιά του αντιδραστήρα. Χρόνια, πίστευαν πως ο βρασμός του νερού στο εσωτερικό της καρδιάς του αντιδραστήρα θα μπορούσε να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα ευστάθειας στο σύστημα. Εντούτοις, μετά από έρευνες που πραγματοποιηθήκαν τη δεκαετία του '50 έδειξαν πως κάτι τέτοιο συμβαίνει μόνο όταν ο βρασμός λαμβάνει χώρα σε συνθήκες χαμηλής πίεσης. Εν κατακλείδι, σε υψηλή πίεση ο βρασμός δεν καθιστά το σύστημα ασταθές αυτό είχε σαν αποτέλεσμα το έναυσμα για την ανάπτυξη των BWR, με πολλαπλά οφέλη.



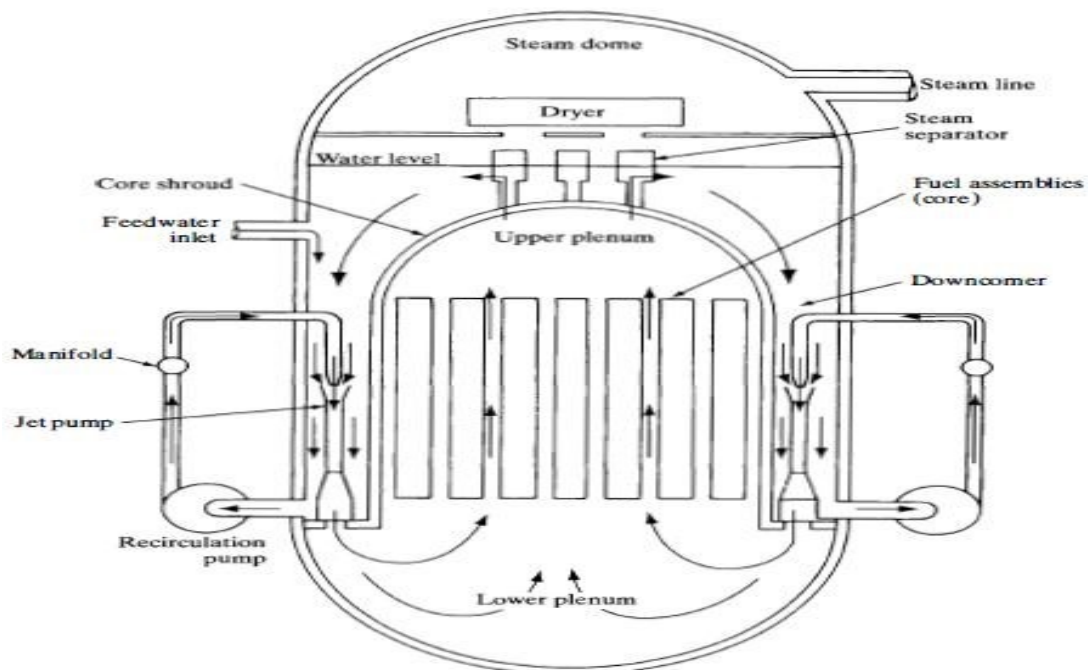
Σχήμα 4.5 Σχηματικό διάγραμμα αντιδραστήρα ζέοντος ύδατος (BWR) [27]

Η διαδικασία που ακολουθείτε στους αντιδραστήρες ζέοντος ύδατος (Boiling Water Reactors – BWR) είναι ο ατμός παράγεται απευθείας στον πυρήνα του αντιδραστήρα, χωρίς τη χρήση αμοπαγωγών. Επίσης για δεδομένη ποσότητα νερού είναι δυνατή η απορρόφηση περισσότερης θερμότητας υπό σταθερή θερμοκρασία (λανθάνουσα θερμότητα), κατά την ατμοποίησή του. Στους αντιδραστήρες άμεσου κύκλου, επειδή ο ατμός παράγεται στην καρδιά είναι ραδιενεργός. Στην ουσία περιέχει μικρές ποσότητες των προϊόντων της σχάσης και κυρίως N-16, προϊόν της αντίδρασης του οξυγόνου με νετρόνια. Αποτέλεσμα των παραπάνω όλες οι μονάδες στις οποίες χρησιμοποιείται ατμός πρέπει να

περιβάλλονται από βιολογική θωράκιση προκειμένου να περιορίζεται η διαρροή ακτινοβολίας.

Επίσης στους BWR η πίεση στο δοχείο πίεσης η οποία φτάνει τα 70atm είναι σχεδόν η μισή από την αντίστοιχη στους PWR. Στην συγκεκριμένη πίεση το νερό βράζει περίπου στους 285°C ενώ η πίεση και η θερμοκρασία του ατμού στην έξοδο του συστήματος είναι ίδιες με εκείνες των αμοπαγωγών των PWR.

Παρακολουθώντας την πορεία του ψυκτικού σε έναν αντιδραστήρα BWR, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.5, παρατηρούμε τα εξής: Το νερό, ξεκινά από το χαμηλότερο τμήμα, κινείται μέσω της καρδιάς απορροφώντας θερμότητα (λανθάνουσα και μη). Το μίγμα ατμού και νερού οδηγείται σε διαχωριστές ατμού, οι οποίοι με την σειρά τους απομακρύνουν το περισσότερο νερό. Ο ατμός καταλήγει σε ένα αποξηραντή, ο οποίος απομακρύνει τυχόν νερό που έχει μείνει, και βγαίνει με κατεύθυνση προς το στρόβιλο. Το νερό που έχει διαχωριστεί, αναμιγνύεται με το νερό του συμπυκνωτή και οδηγείται και πάλι στο κατώτερο μέρος. Επίσης η κίνηση του ψυκτικού επιτυγχάνεται χάρη σε ένα σύστημα επανακυκλοφορίας.



Σχήμα 4.6: Αντιδραστήρας ζέοντος ύδατος. Η κίνηση του νερού υποδεικνύεται από τα βέλη [29]

Το καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι το UO_2 , τοποθετημένο σε ράβδους καυσίμου με περίβλημα από ανοξείδωτο ασάλι ή κράμα ζirkονίου όπως και στο προηγούμενο. Σε αντίθεση με τους PWR καθώς το ανώτερο μέρος της καρδιάς είναι συνήθως κατειλημμένο με κενά ατμού με αποτέλεσμα η κίνηση των ράβδων ελέγχου να μην είναι τόσο αποτελεσματική αυτό έχει ως συνέπεια οι ράβδοι ελέγχου στους BWR τοποθετούνται στο κατώτερο μέρος του πυρήνα κι όχι στην κορυφή.

4.3.1.3 Προηγμένοι Αντιδραστήρες Ελαφρού Ύδατος

Με τον καιρό και σε μια προσπάθεια να γίνει οικονομικά ανταγωνιστικότερη η χρήση της πυρηνικής ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή, πραγματοποιήθηκαν έρευνες για την ανάπτυξη νέων συστημάτων, απλούστερων κι ασφαλέστερων. Κατά την διάρκεια των ερευνών αναπτύχθηκαν οι προηγμένοι αντιδραστήρες ζέοντος ύδατος (Advanced Boiling Water Reactor – ABWR) και οι αντιδραστήρες πεπιεσμένου ύδατος System 80+, οι οποίοι στηρίζονται σε απλά σχεδιαστικά συστήματα αξιοποιώντας όμως συστήματα ασφαλείας υψηλής τεχνολογίας. Παράλληλα, την εποχή εκείνη σχεδιάστηκαν και τα συστήματα παθητικής ψύξης για την αντιμετώπιση ενός ενδεχόμενου ατυχήματος. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν φυσικές διεργασίες που στηρίζονται σε απλούς φυσικούς νόμους, όπως η βαρύτητα και οι θερμοκρασιακές διαφορές. Η τεχνολογία αυτή εμφανίστηκε στους Advanced Passive 600(AP600) και στους απλοποιημένους αντιδραστήρες ζέοντος ύδατος SBWR – Simplified Boiling Water Reactors.

4.3.2 Αντιδραστήρες Βαρέως Ύδατος

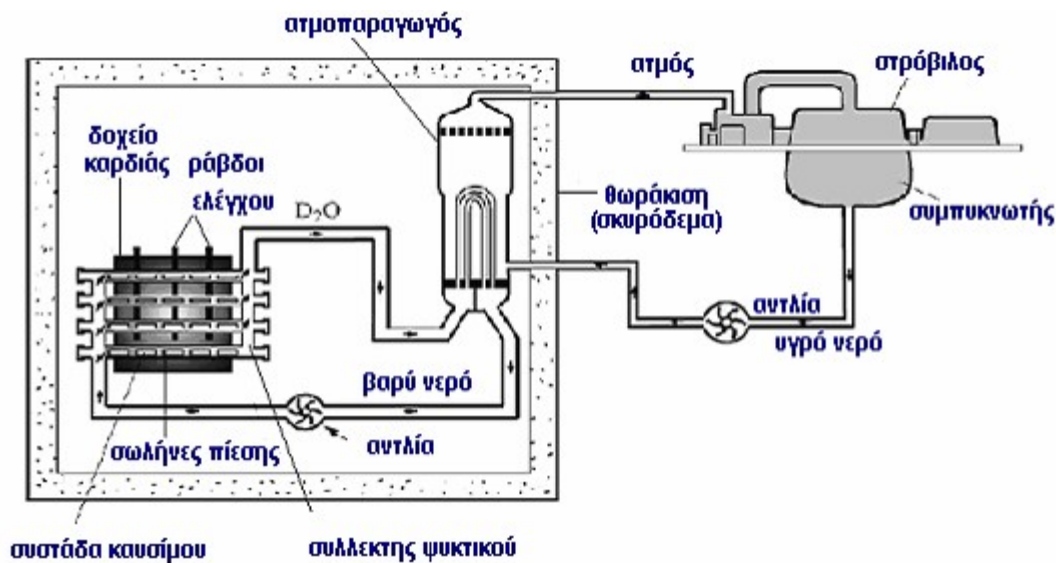
Οι αντιδραστήρες βαρέως ύδατος (Heavy Water Reactors – HWR) χρησιμοποιούν ως επιβραδυντή βαρύ ύδωρ D_2O . Πρωτοπόρος αυτών ο Καναδάς, η έρευνα για τους HWR ξεκίνησε λίγο πριν το Β' Παγκόσμιο Πόλεμο για πολεμικές εφαρμογές όπου σύντομα αναγνώρισε τη σημασία τους και προχώρησε στη συστηματική ανάπτυξή τους. Το D_2O έχει μικρή ενεργό διατομή, όπου αυτό με την σειρά του ελαχιστοποιεί τον αριθμό των νετρονίων που χάνονται δίνοντας τη δυνατότητα χρήσης φυσικού ουρανίου. Στην πράξη υπάρχει η δυνατότητα απευθείας αξιοποίηση των κοιτασμάτων φυσικού ουρανίου που υπάρχουν στην καναδική επικράτεια.

Εν τέλει, επειδή το δευτέριο στο D_2O έχει σχεδόν διπλάσιο βάρος από το υδρογόνο στο H_2O , η ικανότητα επιβράδυνσης του πρώτου είναι σαφώς μικρότερη. Αυτό έχει ως συνέπεια

τα νετρόνια χάνουν κατά μέσο όρο λιγότερη ενέργεια στις σκεδάσεις τους στο D_2O από τις αντίστοιχες στο H_2O , με αποτέλεσμα να διανύουν μεγαλύτερες αποστάσεις μέχρι να γίνουν θερμικά. Η καρδιά είναι σαφώς μεγαλύτερη από την καρδιά ενός LWR εξαιτίας του μεγαλύτερου όγκου του επιβραδυντή ακόμα, απαιτείται πολύ μεγαλύτερο δοχείο πίεσης για την τοποθέτηση ενός τέτοιου αντιδραστήρα.

4.3.2.1 CANDU

Ο πιο σημαντικός αντιδραστήρα βαρέως ύδατος είναι οι CANDU (CANadian Deuterium – Uranium). Συγκεκριμένα αντιδραστήρες έμμεσου κύκλου, που χρησιμοποιούν βαρύ ύδωρ υπό πίεση ως ψυκτικό. Η συγκρότηση της καρδιά ενός αντιδραστήρα CANDU αποτελείται από πολλά οριζόντια κανάλια ψυκτικού, καθένα από τα οποία περιέχεται στο δικό του σωλήνα πίεσης. Αποτέλεσμα της συγκρότησής αυτής να χρησιμοποιείται για την αποφυγή του μεγάλου δοχείου πίεσης. Πιο αναλυτικά, ο αντιδραστήρας CANDU αποτελείται από μία μεγάλη κυλινδρική δεξαμενή, η οποία περιέχει τον επιβραδυντή (D_2O). Το δοχείο αυτό διαπερνάτε από σωλήνες πίεσης οι οποίοι περιέχουν το καύσιμο. Επίσης το ψυκτικό (D_2O) ρέει υπό πίεση 10 MPa μέσα στο σωλήνα πίεσης και είναι ανεξάρτητο από τον επιβραδυντή.



Σχήμα 4.7: Σχηματικό διάγραμμα αντιδραστήρα CANDU [27]

Το ψυκτικό από τους σωλήνες πίεσης οδηγείται στους εναλλάκτες θερμότητας. Συγχρόνως στο δευτερεύον κάθε ατμοπαραγωγού ρέει νερό (H_2O). Με τη μεταφορά

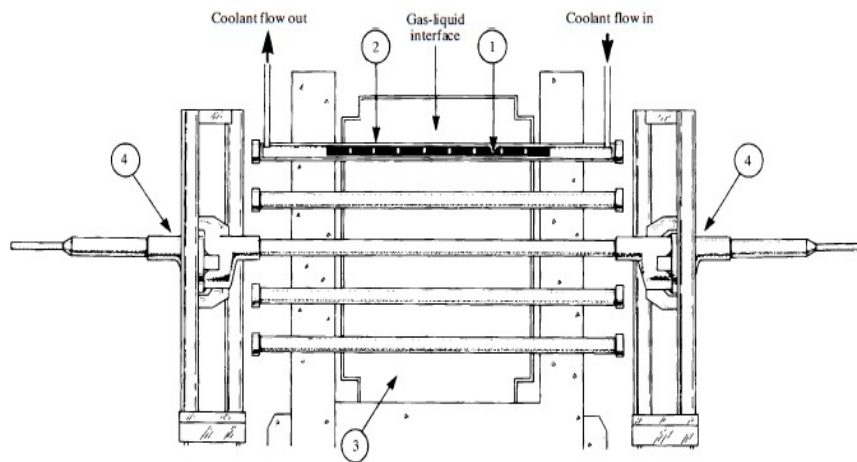
θερμότητας από το ψυκτικό στο δευτερεύον του εναλλάκτη παράγεται ατμός υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης, το οποίο οδηγείται στον αμοστρόβιλο. Στην συνέχεια, το ψυκτικό D₂O οδηγείται και πάλι στην είσοδο των αυλών της καρδιάς.

Αρνητικό μέρος των αντιδραστήρων αυτών είναι ότι το πεπιεσμένο ψυκτικό D₂O δεν μπορεί να αποκτήσει υψηλή θερμοκρασία ώστε να παράγει ατμό τόσο υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας όσο οι LWR. Η θερμοκρασία εισαγωγής είναι 266°C και εξέρχεται σε θερμοκρασία 310°C. Συνεπώς η θερμοδυναμική απόδοση των αντιδραστήρων CANDU κυμαίνεται μεταξύ 28% - 30% με αποτέλεσμα όπου εγκαθίστανται απαιτείται η χρήση μεγαλύτερων στροβίλων, ώστε να αποτρέπεται η διάβρωση από τη χρήση υγρού ατμού. Έχει προταθεί η χρησιμοποίησει άλλων ψυκτικών για την αποφυγή προβλημάτων.

Το δοχείο της καρδιάς είναι κατασκευασμένο από ανοξειδωτο χάλυβα πάχους 2,5 περίπου cm με πλάτος και ύψος περίπου 7,6m. Επίσης ο επιβραδυντής διαθέτει το δικό του σύστημα ψύξης το οποίο διατηρεί τη θερμοκρασία του σταθερή στους 10°C.

Το καύσιμο που χρησιμοποιείται από τους συγκεκριμένους αντιδραστήρες είναι φυσικό ουράνιο στη μορφή δισκίων UO₂, τοποθετημένων σε ράβδους με περίβλημα από κράμα ζirkονίου. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ελαφρώς εμπλουτισμένο ουράνιο, επιτρέποντας την ουσιαστική μείωση του συνολικού όγκου της εγκατάστασης και κατ' επέκταση της απαιτούμενης επένδυσης.

Οι αντιδραστήρες CANDU προσφέρουν τη δυνατότητα αντικατάστασης του καυσίμου ενώ βρίσκονται η λειτουργία. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 29 που ακολουθεί η επίτευξη γίνεται χάρη στην ύπαρξη δύο μηχανισμών ανατροφοδότησης που λειτουργούν μαζί στο αντίθετο άκρο κάθε σωλήνα καυσίμου. Εισάγεται μια νέα συστάδα καυσίμου σε έναν από τους δύο μηχανισμούς, ο οποίος με την σειρά του την ωθεί στο άλλο άκρο του σωλήνα. Έπειτα με τη σειρά της ωθεί την παλιά συστάδα προς τα έξω, όπου και οδηγείται σε μια δεξαμενή καυσίμου. Η ανατροφοδότηση αυτή αυξάνει τη διαθεσιμότητα των εγκαταστάσεων ηλεκτροπαραγωγής όπου εγκαθίστανται σε ποσοστό μεγαλύτερο του 90%, δίνοντας τους συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι των LWR, οι οποίοι πρέπει να θέτονται εκτός λειτουργίας κατά την διαδικασία αυτή.



Σχήμα 4.8: Σχηματικό διάγραμμα ενός αντιδραστήρα CANDU: (1) Συστάδες καυσίμου (2) Σωλήνες πίεσης (3) Επιβραδυντής Βαρέως Ύδατος (4) Μηχανισμοί ανατροφοδότησης καυσίμου [29]

4.3.3 Αερίοψυκτοι Αντιδραστήρες

Οι αντιδραστήρες που χρησιμοποιούν γραφίτη ως επιβραδυντή και κάποιο αέριο είτε διοξείδιο του άνθρακα είτε ήλιο ως ψυκτικό ονομάζονται αερίοψυκτοι αντιδραστήρες (Gas Cooled Reactor–GCR). Οι αερίοψυκτοι αντιδραστήρες αναπτύχθηκαν για στρατιωτικές εφαρμογές κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου από τις ΗΠΑ. Ένα από τα πλεονεκτήματα των αερίοψυκτων αντιδραστήρων είναι η δυνατότητα χρήσης φυσικού ουρανίου χωρίς εμπλουτισμό ως καύσιμο. Επίσης, οι αερίοψυκτοι αντιδραστήρες λειτουργούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες αυτό έχει σαν αποτέλεσμα υψηλότερο βαθμό απόδοσης. Αν παρατηρήσει κανείς στην πρώτη γενιά αντιδραστήρων συναντάμε δύο αερίοψυκτους αντιδραστήρες τους αγγλικούς Magnox και τους γαλλικούς UNGG. Συγκεκριμένα η διαφορά τους έγκειται στο υλικό των ράβδων καυσίμου. Στην πράξη, οι αερίοψυκτοι αντιδραστήρες χρησιμοποιούν για επιβραδυντή γραφίτη και για ψυκτικό διοξείδιο του άνθρακα ή ήλιο το οποίο είναι εξαιρετικό ψυκτικό καθώς όντας αδρανέστερο από το CO_2 , δεν απορροφά νετρόνια στην ουσία δεν γίνεται εν γένει ραδιενεργό.

4.3.3.1 Αντιδραστήρες Γραφίτη – Αερίου

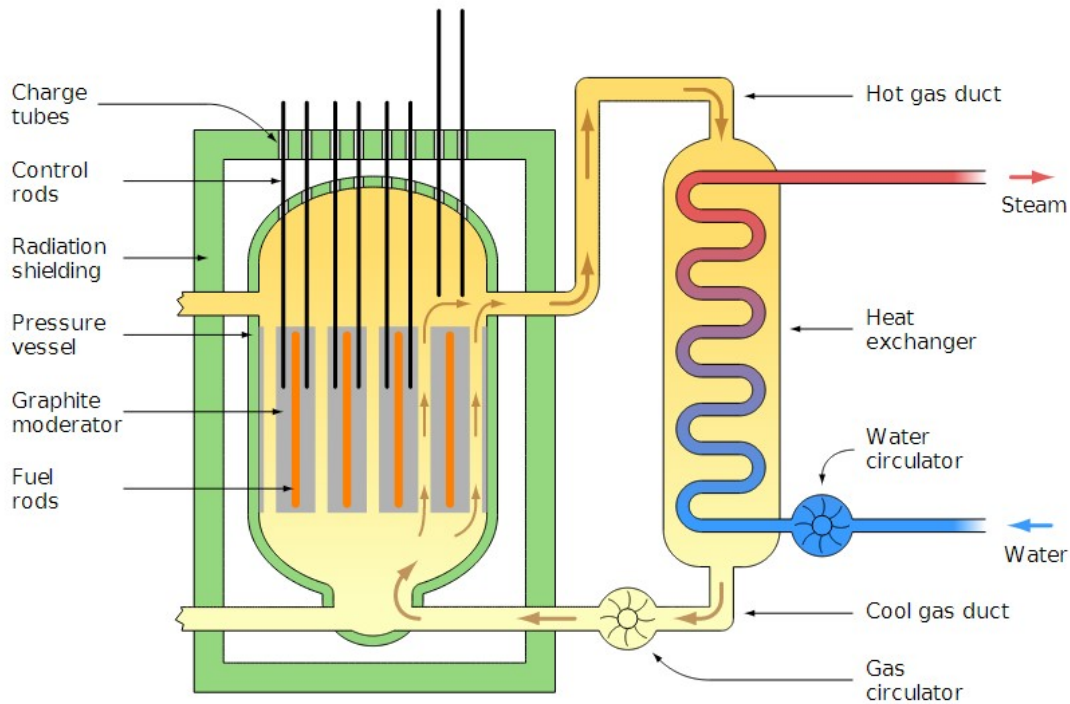
Πρόκειται για δύο τύπους αντιδραστήρων από γραφίτη τον Magnox, έναν από τους πρώτους τύπους αντιδραστήρα που αναπτύχθηκαν στο Ηνωμένο Βασίλειο και διανεμήθηκαν σε αρκετές χώρες τόσο για χρήση στην ηλεκτροπαραγωγή όσο και για στρατιωτικές εφαρμογές.

Οι αντιδραστήρες γραφίτη αερίου χρησιμοποιούν ως ψυκτικό διοξείδιο του άνθρακα κι ως επιβραδυντή γραφίτη καθώς επίσης λειτουργούν με φυσικό ουράνιο. Για τις ράβδους ελέγχου χρησιμοποιείται ένα κράμα χάλυβα ενώ η επίστρωση των ράβδων καυσίμου αποτελείται από μαγνήσιο-αργίλιο. Οι μονάδες διαφέρουν εξαιτίας της συνεχούς εξέλιξης και βελτιστοποίησης. Παλαιότερα χρησιμοποιούσαν δοχείο πίεσης από χάλυβα, ο οποίος αντικαταστάθηκε από μπετόν. Επίσης ο αρχικός σχεδιασμός ήταν σφαιρικός πλέον συναντάμε και κυλινδρικές μονάδες.

Στην ουσία δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση κατά την σχεδίαση στην αντικατάσταση του καυσίμου, χωρίς την απαίτηση αποσύνδεσης από το δίκτυο. Το στοιχείο αποτελούσε ιδιαίτερης σημασίας για τους Magnox καθώς το μη εμπλουτισμένο ουράνιο απαιτεί συχνότερη ανανέωση έναντι των αντιδραστήρων εμπλουτισμένου ουρανίου.

Ιστορικά, τύπου Magnox θεωρούνταν αρκετά ασφαλείς διατάξεις εξαιτίας της απλότητας του σχεδιασμού, της χαμηλής πυκνότητας ισχύος και της χρήσης αερίου ψυκτικού. Επίσης ήταν και ο πρώτος πυρηνικός ισθμός ηλεκτροπαραγωγής στην παγκόσμια ιστορία ο οποίος συνδέθηκε για πρώτη φορά στο δίκτυο στις 27 Αυγούστου 1956 και σταμάτησε να λειτουργεί μετά από 47 χρόνια ηλεκτροπαραγωγής στις 31 Μαρτίου του 2011. Ο τελευταίος εν ενεργεία αντιδραστήρας ήταν στον πυρηνικό σταθμό Wylfa ο οποίος τέθηκε εκτός λειτουργίας το Σεπτέμβριο του 2014.

Στην κατηγορία αυτή είναι και οι αντιδραστήρες Φυσικού Ουρανίου Γραφίτη – Αερίου (Uranium Naturel Graphite Gaz- UNGG Reactor) που αναπτύχθηκαν με παρόμοιες προδιαγραφές με τους Magnox από τους Γάλλους την ίδια χρονική περίοδο. Ως επιβραδυντή χρησιμοποιούν γραφίτη, ως ψυκτικό διοξείδιο του άνθρακα και ως καύσιμο φυσικό ουράνιο. Ο γαλλικός σχεδιασμός έγκειται στον οριζόντιο προσανατολισμό των ράβδων καυσίμου η οποία είναι και η κύρια διαφορά. Τέλος, αντιδραστήρες αυτού του τύπου αποδείχθηκαν οικονομικά ασύμφοροι και μέχρι το τέλος του 1994 είχαν παροπλιστεί όλοι τους.



Σχήμα 4.9: Σχηματικό διάγραμμα αντιδραστήρα Magnox [30]

4.3.3.2 Αερίοψυκτοι Αντιδραστήρες Βαρέως Ύδατος

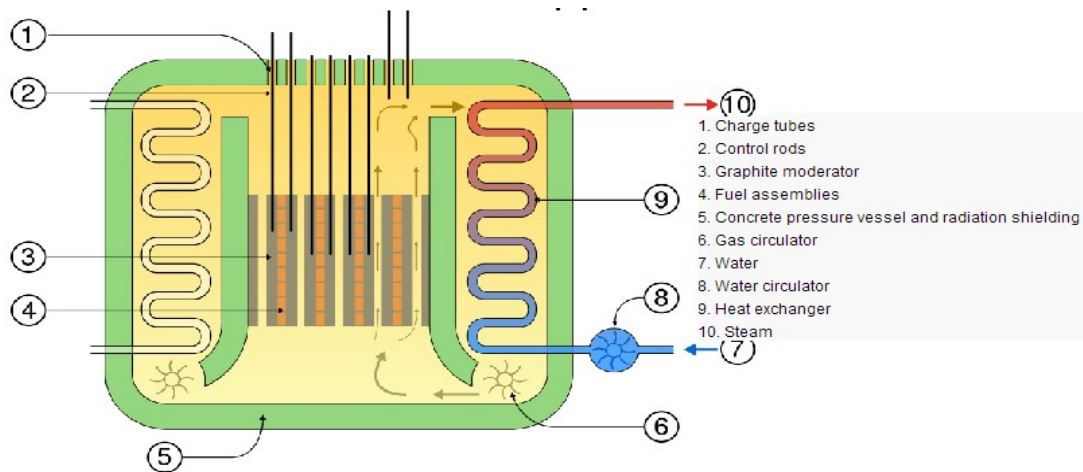
Οι αερίοψυκτοι αντιδραστήρες βαρέως ύδατος (Heavy Water Gas Cooled Reactor–HWGCR) χρησιμοποιούν οξείδιο του δευτερίου ως επιβραδυντή και διοξείδιο ως ψυκτικό. Αναπτύχθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1960 με στόχο την εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων χρήσης του διοξειδίου για χαμηλή απορρόφηση νετρονίων σε μέτρια πίεση με την δυνατότητα επίτευξης υψηλών θερμοκρασιών. Εν τέλει αναπτύχθηκαν τέσσερις τέτοιοι πυρηνικοί αντιδραστήρες από τους οποίους κανένας δεν βρίσκεται σε λειτουργία.

4.3.3.3 Προηγμένοι Αερίοψυκτοι Αντιδραστήρες

Αντιδραστήρες δεύτερης γενιάς, πρόκειται για την εξέλιξη των Magnox, που αναπτύχθηκαν στην Αγγλία. Η κύρια διαφορά τους από τους υπόλοιπους είναι ότι λειτουργούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες αερίου επιτυγχάνοντας υψηλότερο θερμικό

βαθμό απόδοσης.

Οι αντιδραστήρες αυτού του τύπου (Advanced Gas Cooled Reactors- AGR) σχεδιάστηκαν ώστε η τελική κατάσταση του ατμού στην είσοδο του στροβίλου να είναι πανομοιότυπη με εκείνη στους συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Συγκεκριμένα, οι σταθμοί των AGR περιλαμβάνουν δύο αντιδραστήρες με τυπική ισχύ εξόδου από 550-670 MWe. Η καρδιά του αντιδραστήρα αποτελείται από πλευρική στοίβα, τα κανάλια καυσίμου είναι τοποθετημένα με τέτοιο τρόπο, ώστε το ψυκτικό να ρέει ανάμεσα στο καύσιμο και στον επιβραδυντή. Επίσης, οι ράβδοι καυσίμου επενδύονται με ανοξειδωτο χάλυβα λόγω των υψηλών θερμοκρασιών. Οι αντιδραστήρες αυτοί χρησιμοποιούν ως καύσιμο διοξείδιο του ουρανίου, ελαφρά εμπλουτισμένο [31].



Σχήμα 4.10: Σχηματικό διάγραμμα αντιδραστήρα AGR [31]

Κινητήριοις μοχλός για την ανάπτυξη αυτών αυτών ήταν η υψηλή θερμική αποδοτικότητα. Επιτυγχάνοντας θερμικό βαθμό απόδοσης της τάξεως του 41% που είναι και υψηλότερος από τον αντίστοιχο 34% των PWRs. Ο πρώτος AGR που συνδέθηκε στην παραγωγή ήταν μόλις το 1976 παρότι ο πρώτος που αναπτύχθηκε ήταν το 1962. Σήμερα οι εν ενεργεία αντιδραστήρες αυτού του τύπου υπάρχουν στο Hinkley Point B, Hunterston B, Dugness B, Hartlepool, Heysham 1 & 2, Torness στην Αγγλία.

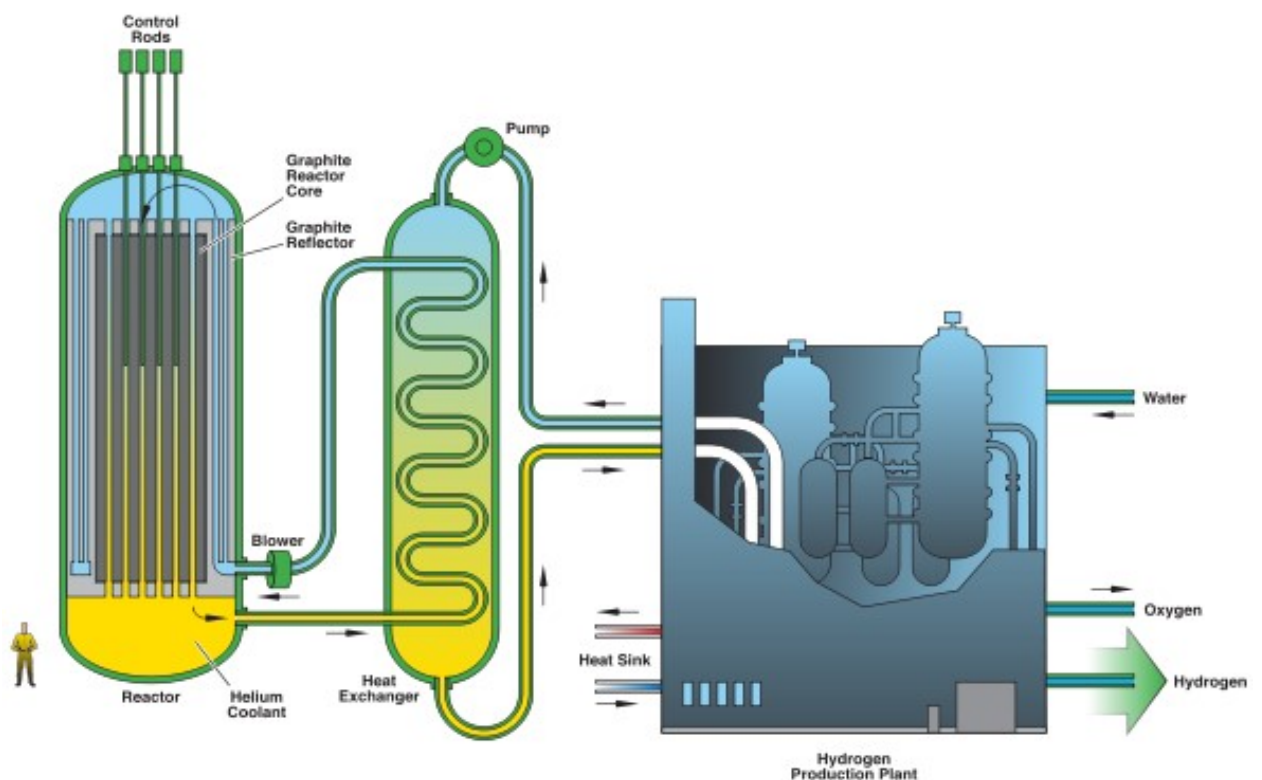
4.3.3.4 Αερίψυκτοι Αντιδραστήρες Υψηλής Θερμοκρασίας

Οι αερίψυκτοι αντιδραστήρες υψηλής θερμοκρασίας (Very High Temperature Gas-Cooled Reactor – (V)HTGR) αναπτύχθηκαν κυρίως στη Γερμανία και τις Ηνωμένες Πολιτείες. Η αντιδραστήρες αυτού του τύπου είναι θερμικοί αντιδραστήρες τέταρτης γενιάς που χρησιμοποιούν γραφίτη ως επιβραδυντή και ήλιο για ψύξη καθώς επίσης χρησιμοποιεί ως καύσιμο υψηλά εμπλουτισμένου ουρανίου U-235 και θωριού. Συγκεκριμένα κατά τη λειτουργία του, ένα κομμάτι του θόριου μετατρέπεται σε U233, αλλά, καθώς ο αντιδραστήρας δεν αναπαράγει, το U-235 πρέπει να είναι πάντα διαθέσιμο. Η χρήση ουρανίου με υψηλό βαθμό εμπλουτισμού μειώνει σημαντικά τα αρχικά κατασκευαστικά κόστη καθώς δίνει τη δυνατότητα σχεδιασμού σαφώς μικρότερων αντιδραστήρων σε σχέση με άλλους αερίψυκτους αντιδραστήρες.

Η VHTGR έχουν παρόμοια λειτουργία με εκείνη των βρετανικών AGR. Το ήλιο ψύχει στην καρδιά του αντιδραστήρα διασχίζοντας τα κανάλια από γραφίτη και στη συνέχεια οδηγείται στους ατμοπαραγωγούς και από εκεί στην καρδιά. Η υψηλή θερμική απόδοση της τάξης του 40% οφείλεται στο ότι ο ατμός που παράγεται βρίσκεται σε θερμοκρασία 540°C και πίεση 16 MPa. Η πολύ υψηλή θερμοκρασία του ψυκτικού ηλίου, θεωρείτε το πλεονέκτημα αυτού του συστήματος, η οποία τυπικά κυμαίνεται μεταξύ 815°C και 870°C καθώς επίσης και η εξάλειψη του ενδιάμεσου κύκλου ατμού. Τέλος να επισημανθεί πως η συνολική απόδοση μπορεί να αυξηθεί στο 50% με την εκμετάλλευση της απορριφθείσας θερμότητας η οποία βρίσκεται σε υψηλές θερμοκρασίες. Συγκεκριμένα μπορεί χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές πέραν της ηλεκτροπαραγωγής, όπως αφαλάτωση νερού κλπ.

Στην κατηγορία που προαναφέρθηκε ανήκουν και οι Pebble-bed Reactor (PBR). Στην ουσία πρόκειται για αερίψυκτους αντιδραστήρες πολύ υψηλής θερμοκρασίας, που χρησιμοποιούν γραφίτη ως επιβραδυντή. Το σφαιρικό σχήμα που θυμίζει βότσαλο, τους έχει δώσει και αυτήν την ονομασία, στο οποίο είναι διαμορφωμένο το πυρηνικό καύσιμο. Τα μέγεθος των σφαιριδίων αυτών είναι ανάλογο με μπαλάκι του τένις, αποτελούνται από πυρολυτικό γραφίτη. Πρόκειται για σωματίδια TRISO και αποτελούνται από ένα σχάσιμο υλικό όμοιο με το U-235, το οποίο καλύπτεται από ένα κεραμικό στρώμα καρβιδίου του πυριτίου. Στην ουσία η καρδιά ενός PBR περιλαμβάνει κάποιες χιλιάδες pebbles, η ψύξη των οποίων επιτυγχάνεται με το άζωτο, το ήλιο ή το διοξείδιο του άνθρακα. Εν κατακλείδι, το πυρηνικό καύσιμο, η θωράκιση των προϊόντων της σχάσης και ο επιβραδυντής τώρα βρίσκονται συγκεντρωμένα στο ίδιο σφαιρίδιο, γεγονός που κάνει την διάταξη πιο απλή. Οι πιέσεις του ψυκτικού στους PBR κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα, το οποίο ρέει ανάμεσα στα

σφαιρίδια του καυσίμου. Η πιθανότητα να γίνει ραδιενεργό είναι σχετικά μικρές καθώς απουσιάζει το υδρογόνο στο ψυκτικό καθώς επίσης δεν υπάρχει και απορρόφηση νετρονίων. Επιπλέον η αντικατάσταση του καυσίμου είναι συνεχής και δεν χρειάζεται η διακοπή λειτουργίας της διάταξης. Στην περίπτωση που το καύσιμο έχει εξαντληθεί, το σφαιρίδιο αντικαθίσταται και αυτό με την σειρά του οδηγείται στο χώρο διαχείρισης των πυρηνικών αποβλήτων. Τέλος, να αναφερθεί πως οι PBRs χρησιμοποιούν παθητικά συστήματα ασφαλείας εξασφαλίζοντας την δυνατότητα ψύξης της διάταξης σε περίπτωση ατυχήματος μέσω φυσικής κυκλοφορίας.



Σχήμα 4.11: Σχηματικό διάγραμμα αερίοψυκτου αντιδραστήρα υψηλής θερμοκρασίας [32]

4.3.4 Αναπαραγωγικοί αντιδραστήρες

Το μέλλον την πυρηνικής βιομηχανίας εικάζεται από κάποιους πως βρίσκεται στους αναπαραγωγικούς αντιδραστήρες [27],[29]. Στους αναπαραγωγικούς αντιδραστήρες προκαλούνται σχάσεις από ταχέα νετρόνια, αυτό συνεπάγεται σε μεγαλύτερο αριθμό ν νετρονίων μετά τη σχάση (Fast Breeder Reactor – FBR). Οι αναπαραγωγικοί αντιδραστήρες

χρησιμοποιούν για καύσιμο το ισότοπο U-238 ή το θόριο, το οποίο βρίσκεται και σε μεγαλύτερη αφθονία από το U-235, καθώς επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τα κατάλοιπα που προκύπτουν μετά τη διαδικασία εμπλουτισμού του ουρανίου.

Ένα μέρος των επιστημών θεωρεί τους αναπαραγωγικούς αντιδραστήρες ως τη μόνη διέξοδο σε μια ενδεχόμενη μελλοντική «πυρηνική εποχή» διατηρώντας όμως τις επιφυλάξεις του με τα αποθέματα ουρανίου. Χώρες όπως η Γαλλία, η Γερμανία, η Αγγλία, η Ιαπωνία κλπ., που δεν διαθέτουν κοιτάσματα ουρανίου οι αναπαραγωγικοί αντιδραστήρες δεν αποτελούν λύση για το μέλλον, αλλά λύση του παρόντος καθώς πρέπει να εκμεταλλεύονται στο έπακρο τις ποσότητες που εισάγουν. Οι χώρες που αναφέρθηκαν έχουν την ικανότητα να δημιουργούν εμπλουτισμένο ουράνιο. Εντούτοις εκτιμάται πως διαθέτουν αρκετό εμπλουτισμένο ουράνιο για να ικανοποιήσει τις ενεργειακές τους ανάγκες για τα επόμενα 100 χρόνια.

Ιστορικά ο πρώτος αναπαραγωγικός αντιδραστήρας αναπτύχθηκε στο Los Alamos του Νέου Μεξικού το 1946, με παραγόμενη ισχύ της τάξης των 25kW. Αργότερα αναπτύχθηκε ένας αναπαραγωγικός αντιδραστήρας που απέδιδε ισχύ 1,3 MW και ψυχόταν με τη χρήση ενός μίγματος καλίου-νατρίου ο EBR-I (Experiment Breeder Reactor-I).

4.3.4.1 Αναπαραγωγικοί αντιδραστήρες ταχέων νετρονίων υγρού-μετάλλου

Η σημαντικότερη κατηγορία αναπαραγωγικών αντιδραστήρων που παρουσιάζουν εμπορική τυποποίηση και χρησιμοποιούνται διεθνώς για ηλεκτροπαραγωγή είναι αυτοί των ταχέων νετρονίων υγρού-μετάλλου. Πιο συγκεκριμένα το καύσιμο τους είναι μίγμα ουρανίου-πλουτωνίου. Στην πράξη ο αντιδραστήρα τροφοδοτείται με ισότοπα πλουτωνίου ενώ ο μανδύας επώασης περιέχει ουράνιο είτε φυσικό είτε εμπλουτισμένο. Επίσης στους αναπαραγωγικούς αντιδραστήρες δεν υπάρχει επιβραδυντής παρά μόνο οι ράβδους καυσίμου και το ψυκτικό.

Ως επί το πλείστον στους αναπαραγωγικούς αντιδραστήρες ταχέων νετρονίων υγρού-μετάλλου (Liquid Metal Cooled Fast Breeder Reactor- LMFBR), το ψυκτικό που χρησιμοποιείται είναι το νάτριο δίνοντας την δυνατότητα στους LMFBR, να λειτουργούν με υψηλή ενεργειακή πυκνότητα. Επίσης το υψηλό σημείο ζέσης περίπου 882°C σε ατμοσφαιρική πίεση είναι μία σημαντική ιδιότητα που επιτρέπει στο κύκλωμα ψυκτικού να λειτουργεί σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες χωρίς να βράζει παραμένοντας σε ατμοσφαιρική πίεση και αίροντας την ανάγκη για την ύπαρξη δοχείου πίεσης. Ακόμα, το νάτριο δεν φθείρει

τα δομικά υλικά του αντιδραστήρα σε αντίθεση με τον νερό. Οι LMFBR έχουν πολύ μικρότερη εκπομπή ακτινοβολίας από τους αντίστοιχους LWR πράγμα που φαίνεται δια οφθαλμού καθώς το νάτριο είναι υψηλά ενεργό χημικά το οποίο όταν είναι ζεστό αντιδρά με το νερό βίαια και στην πρώτη επαφή με τον αέρα παράγεται λευκός καπνός πράγμα που φαίνεται.

4.3.4.2 Αναπαραγωγικοί αεριοψυκτοί αντιδραστήρες

Οι αναπαραγωγικοί αεριοψυκτοί αντιδραστήρες είναι αντιδραστήρες τέταρτης γενιάς και βρίσκονται υπό ανάπτυξη (Gas Cooled Fast Reactor - GCFR) χρησιμοποιούν κράμα πλουτωνίου ουρανίου ως καύσιμο και ήλιο ως ψυκτικό. Έχουν όμοιο πυρήνα με εκείνο των LMFBR. Η είσοδος του ψυκτικού γίνεται σε θερμοκρασία 298°C και η έξοδος από την κορυφή σε θερμοκρασία 520°C στην συνέχεια κατευθύνεται σε τρεις ατμοπαραγωγούς. Επίσης διατίθενται και βοηθητικοί κυκλοφορητές καθώς και εναλλάκτες θερμότητας σε περίπτωση αποτυχίας του κεντρικού ψυκτικού συστήματος. Η θερμοκρασία του υπέρθερμου ατμού από τον ατμοπαραγωγό είναι στους 485°C καθώς επίσης και ολόκληρο το κύκλωμα ατμού μπορεί να αντικατασταθεί ενώ το ήλιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας στην ατμογεννήτρια τα οφέλη των παραπάνω πολλά.

Στην ουσία η χρήση αυτή βελτιώνει σημαντικά το λόγο αναπαραγωγής καθώς δεν επιβραδύνει τα νετρόνια του αντιδραστήρα όπως συμβαίνει στους LMFBR. Επίσης, το ήλιο στους GCFR δεν γίνεται υπερβολικά ραδιενεργό οπότε οι εργασίες συντήρησης κι επισκευής μπορούν να πραγματοποιούνται άμεσα μετά το κλείσιμο του αντιδραστήρα. Ακόμα ο εντοπισμός κάποιας βλάβης είναι εύκολο να εντοπιστεί και να αντιμετωπιστεί, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα οικονομικά οφέλη από την μείωση του χρόνου να είναι πολλά ειδικά σε σύγκριση με τους LMFBR.

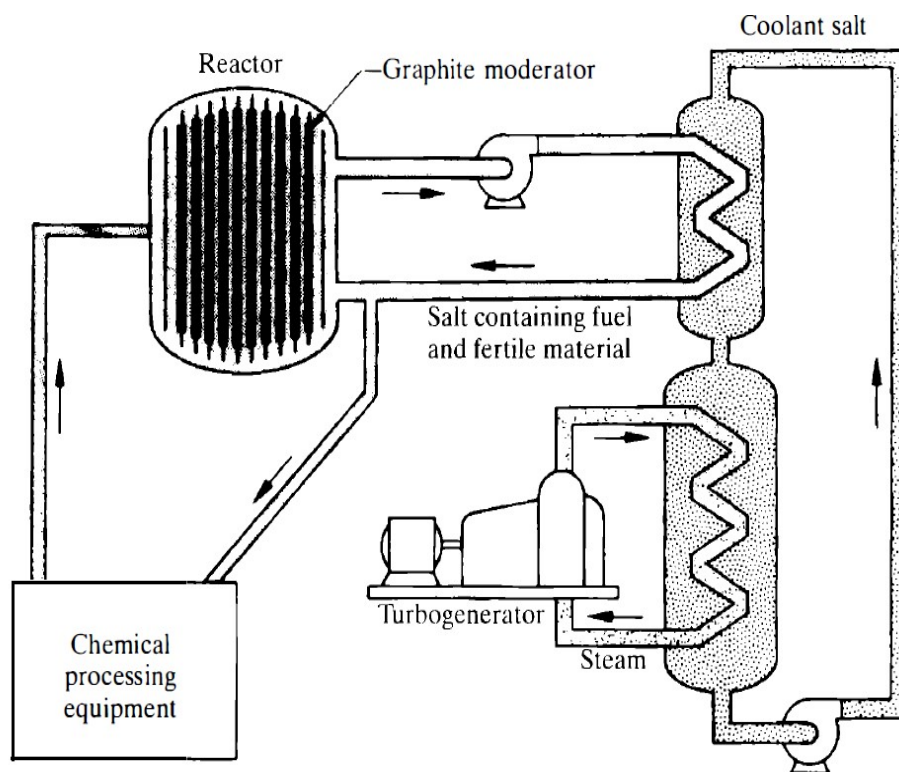
4.3.4.3 Αναπαραγωγικοί αντιδραστήρες τετηγμένων αλάτων

Πρόκειται για θερμικούς αναπαραγωγικούς αντιδραστήρες όμως στηρίζονται σε ένα διαφορετικό τρόπο σχεδίασης το γόνιμο υλικό και το ψυκτικό έχουν αναμειχθεί σε ένα ομογενοποιημένο υγρό στην ουσία χρησιμοποιούν κύκλο U-233 και θορίου. Για τους αντιδραστήρες αυτούς χρησιμοποιείται μια ποικιλία φθοριούχων αλάτων τα οποία συγκεντρώνουν σημαντικές ιδιότητες διότι έχουν χαμηλό ποσοστό απορρόφησης νετρονίων, υψηλή διαλυτότητα στο ουράνιο και βρίσκονται στις πιο σταθερές χημικές

ενώσεις με καλές θερμικές ικανότητες και πολύ χαμηλή πίεση ατμών σε υψηλές θερμοκρασίες. Όλα τα παραπάνω επιτρέπουν στους αναπαραγωγικούς αντιδραστήρες τετηγμένων αλάτων (Molten-Salt Breeder Reactor- MSBR) να λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες με χαμηλές πιέσεις, αυξάνοντας το συνολικό βαθμό απόδοσης περίπου στο 44%. Επίσης, τα άλατα ούτε καταστρέφονται από την ακτινοβολία ούτε αντιδρούν βίαια με το νερό ή τον αέρα και ως επί το πλείστον παραμένουν αδρανή ακόμη και με το γραφίτη.

Πιο συγκεκριμένα η καρδιά του αντιδραστήρα αποτελείται από μια διάταξη στοιχείων γραφίτη οι οποία περιλαμβάνει τα κανάλια για τη διέλευση των τετηγμένων αλάτων σχήμα 12. Όπως διακρίνεται από το διάγραμμα καθώς το υγρό διασχίζει την καρδιά η ενέργεια της σχάσης απορροφάτε απευθείας από το υγρό και το σύστημα γίνεται κρίσιμο το οποίο έχοντας πλέον θερμανθεί οδηγείται σε ένα ενδιάμεσο βρόχο ψύξης. Έπειτα, το υγρό μίγμα οδηγείται στην καρδιά, έχοντας κατά ένα μέρος του υποστεί χημική επεξεργασία.

Η διεργασία αυτή είναι πολύ σημαντική καθώς η αύξηση της συγκέντρωσης των προϊόντων της σχάσης στο καύσιμο του αντιδραστήρα είναι αυτή που είναι υπεύθυνη για την ανάγκη περιοδικής ανανέωσης του καυσίμου στους αντιδραστήρες που εξετάστηκαν μέχρι στιγμής. Αυτό συνεπάγεται πως οι αντιδραστήρες αυτού του τύπου μπορούν να λειτουργούν για μεγάλες χρονικές περιόδους χωρίς την ανάγκη ανεφοδιασμού και επανεκκίνησης. Ακόμα, οι MSBR απαιτούν σημαντικά μικρότερες ποσότητες καυσίμου - περίπου 1-1,2kg σχάσιμου υλικού ανά MWe, λόγω της σημαντική εξοικονόμησης νετρονίων. Η ποσότητα που χρησιμοποιεί ένας LWR είναι 3kg ενώ στους LMFBR 3-4kg. Τέλος το ραδιενεργό μίγμα είναι τόσο σημαντικό στον κύκλο παραγωγής και έρχεται σε επαφή με πολλές διατάξεις. Αποτέλεσμα αυτού το κόστος των εργασιών συντήρησης κι επισκευής που απαιτούν αυτοματοποιημένες και απομακρυσμένες διαδικασίες είναι αρκετά υψηλό.



Σχήμα 4.12: Σχηματικό διάγραμμα αναπαραγωγικού αντιδραστήρα τετηγμένου άλατος [29]

4.3.4.4 Αναπαραγωγικοί Αντιδραστήρες Ελαφρού Ύδατος (Light Water Breeder Reactors)

Πρόκειται για αντιδραστήρες που βρίσκονται ακόμη υπό ανάπτυξη και αναμένεται να βελτιώσουν σημαντικά τον τρόπο με τον οποίο αξιοποιούνται τα πυρηνικά καύσιμα. Χρόνια πίστευαν εξαιτίας της υψηλής απορρόφησης θερμικών νετρονίων από το νερό πως δεν είναι δυνατόν να κατασκευαστεί ένας αναπαραγωγικός αντιδραστήρας ελαφρού ύδατος. Πλέον οι LWBRs είναι διαθέσιμοι αν και το κέρδος αναπαραγωγής τους είναι σαφώς χαμηλότερο από των υπόλοιπων αναπαραγωγικών αντιδραστήρων.

4.3.5 Πυρηνικοί Αντιδραστήρες Σύντηξης

Μία διαφορετική τεχνολογία αντιδραστήρων, η οποία ακόμη βρίσκεται σε πολύ πρώιμο στάδιο ανάπτυξης, παρά τις πολλές μακροχρόνιες έρευνες που έχουν συντελεστεί είναι οι πυρηνικοί αντιδραστήρες σύντηξης. Βασίζονται στην πυρηνική σύντηξη κι όχι σχάση, κατά

τη πυρηνική σύντηξη πραγματοποιείται η συνένωση δύο ελαφρών πυρήνων για το σχηματισμό ενός βαρύτερου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα κατά τη σύντηξη εκλύονται σημαντικά ποσά ενέργειας διότι η μάζα των προϊόντων της σύντηξης είναι μικρότερη από το άθροισμα των μαζών των αρχικών πυρήνων.

Στους αντιδραστήρες σύντηξης χρησιμοποιείται υδρογόνο το οποίο βρίσκεται στη φύση σε αφθονία και δεν είναι ραδιενεργό και όχι βαρείς πυρήνες ουρανίου ή θορίου. Άρα, οι αντιδραστήρες σύντηξης αναμένεται να είναι ακίνδυνοι, καθώς το μόνο σχετικά ραδιενεργό στοιχείο που μπορεί να παραχθεί στον κύκλο λειτουργίας τους είναι το τρίτιο, ένα στοιχείο το οποίο είναι ασφαλές για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Για το λόγο πως ακόμα δεν υπάρχει εμπορευματοποίηση των αντιδραστήρων σύντηξης καθώς βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο δεν ελήφθησαν υπόψη στην παρούσα εργασία.

4.4 Ασφάλεια πυρηνικού σταθμού

Πρώτο μέλημα των ερευνητών των πυρηνικών εγκαταστάσεων είναι η ασφάλεια των πυρηνικών εγκαταστάσεων για αυτό και αναπτύσσεται παράλληλα με την πυρηνική τεχνολογία. Λόγω των συνεπειών πιθανών ατυχημάτων, η ασφάλειά τους ανατέθηκε διεθνώς πρώτιστος στον κατασκευαστή και τον υπεύθυνο λειτουργίας της εγκατάστασης, και σε δεύτερο πλάνο σε ειδικούς οργανισμούς που αναπτύσσουν τα πρότυπα ασφάλειας. Ενώ οι χώρες είναι κυρίαρχες σε θέματα ασφαλείας, επειδή οι επιπτώσεις από πυρηνικά ατυχήματα ξεπερνούν τα εθνικά σύνορα έχει θεσμοθετηθεί μια σειρά διεθνών συμβάσεων, οργανισμών και επιτροπών για τη διεθνή αντιμετώπιση τους.

Πιο αναλυτικά υπάρχουν:

- Ο Διεθνής Οργανισμός Ατομικής Ενέργειας (ΔΟΑΕ) που οργανώνει τις διεθνείς συναντήσεις επισκόπησης της Σύμβασης Πυρηνικής Ασφάλειας, της Σύμβασης Ασφάλειας Αναλωθέντων Πυρηνικών Καυσίμων και Ασφάλειας Ραδιενεργών Πηγών και της Σύμβασης για τη μη Διασπορά των Πυρηνικών Όπλων καθώς επίσης συντάσσει και προτείνει πρότυπα, κανονισμούς και οδηγίες ασφάλειας.
- Η Δυτικοευρωπαϊκή Ρυθμιστική Αρχή για την Πυρηνική Ενέργεια (Western European Nuclear Regulators' Association - WENRA) στην οποία συμμετέχουν οι επικεφαλές των ευρωπαϊκών ρυθμιστικών επιτροπών.

- Οι επιτροπές επί της ασφάλειας των πυρηνικών εγκαταστάσεων της Υπηρεσίας Πυρηνικής Ενέργειας (Nuclear Energy Agency) του ΟΟΣΑ καθώς και η Επιτροπή πάνω στις πυρηνικές ρυθμιστικές δραστηριότητες (Committee on Nuclear Regulatory Activities, CNRA) όπου συζητούνται σε υψηλό επίπεδο θέματα ασφάλειας.

Βασικός στόχος των συστημάτων ασφάλειας είναι η εξασφάλιση φραγμάτων για τον εγκλωβισμό των ραδιενεργών προϊόντων της σχάσης, με στόχο την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας διαρροής τους. Η υλοποίηση της αρχής ενώ είναι διαφορετική μεταξύ των τύπων των αντιδραστήρων, έχει κάποια κοινά χαρακτηριστικά:

- Το ίδιο το καύσιμο είναι το πρώτο φράγμα. Σε όλους τους αντιδραστήρες εκτός από έναν το καύσιμο είναι στερεό, συνήθως κεραμικό UO_2 .
- Το αεροστεγώς κλεισμένο περίβλημα της ράβδου καυσίμου, το οποίο εγκλωβίζει τα αέρια της σχάσης είναι το δεύτερο φράγμα.
- Το τρίτο φράγμα εγκλωβισμού των προϊόντων σχάσης είναι το κύκλωμα του ψυκτικού και το δοχείο πίεσης.
- Το τελευταίο φράγμα είναι το δοχείο εγκλωβισμού το οποίο σχεδιάζεται και κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα έτσι ώστε να αντέχει τις αναμενόμενες μεγάλες πιέσεις και να κρατάει ερμητικά κλειστά εντός αυτού τα ραδιενεργά προϊόντα.

Η υλοποίηση των πυρηνικών αντιδραστήρων διέπεται από την ονομαζόμενη άμυνα σε βάθος, σύμφωνα με την οποία:

- η πιθανότητα εκκίνησης ατυχήματος πρέπει να είναι μικρότερη από κάποια προδιαγεγραμμένη τιμή,
- αν το ατύχημα ξεκινήσει, να αποτραπεί η ανάπτυξή του και το σύστημα να επανέλθει σε ασφαλή κατάσταση και
- η πιθανότητα να συμβεί μεγάλο ατύχημα πρέπει να είναι μικρότερη από μία προδιαγεγραμμένη τιμή.

Το 25% του συνολικού κόστους κεφαλαίου χρησιμοποιείται για την ασφάλεια των αντιδραστήρων. Ο σχεδιασμός σύγχρονων αντιδραστήρων περιέχει βελτιώσεις ασφάλειας βασισμένες στην προηγούμενη εμπειρία λειτουργίας. Μέτρο της τεχνολογικής εμπειρίας είναι ο αριθμός των “ετών αντιδραστήρα” λ.χ. αν 20 αντιδραστήρες λειτουργούν επί 10 έτη θεωρούμε ότι υπάρχουν 200 “έτη αντιδραστήρα” πλέον υπάρχουν περισσότερα από 12.000 “έτη αντιδραστήρα”. Μέτρο ασφαλείας είναι και ο αριθμός των ατυχημάτων ανά “έτος -

αντιδραστήρα”.

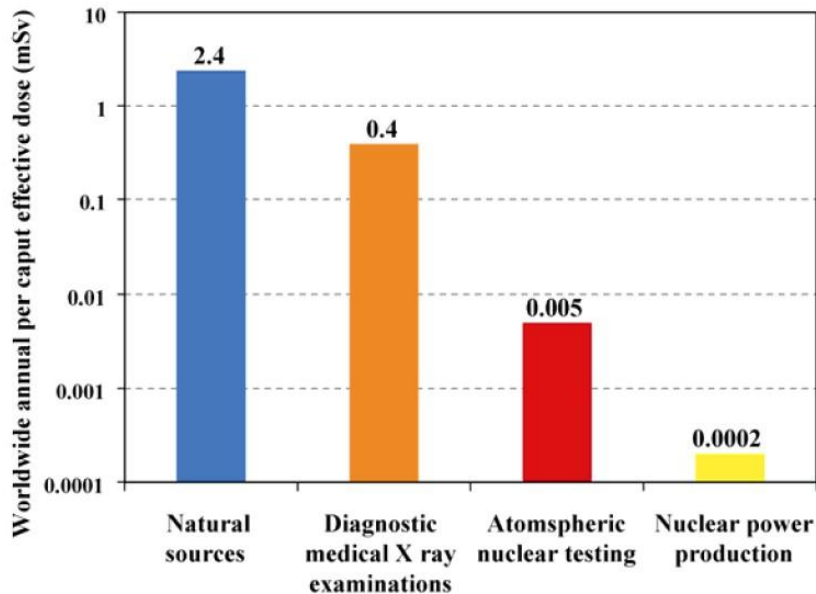
Ο δείκτης ασφάλειας παρουσιάζει την συχνότητα ώστε να συμβεί ατύχημα τήξης της καρδιάς και απώλειας του ψυκτικού (LOCA). Στην πράξη LOCA είναι μεγάλη θραύση σε σημείο του πρωτεύοντος κυκλώματος, π.χ. στο δοχείο πίεσης. Η προδιαγραφή της NRC (Nuclear Regulatory Commission – Ρυθμιστική Επιτροπή των ΗΠΑ) τείνει την συχνότητα ατυχημάτων LOCA να είναι μικρότερη από 1 στα 10.000 έτη-αντιδραστήρα. Οι προδιαγραφές των εταιριών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στις ΗΠΑ αποδέχονται συχνότητα μικρότερη από 1 στα 100.000 έτη-αντιδραστήρα. Σήμερα τα πυρηνικά εργοστάσια είναι τόσο εξελιγμένα σε θέματα ασφαλείας που έχουν συχνότητα μικρότερη από 1 στα 1.000.000 έτη-αντιδραστήρα. Ενώ στις μελλοντικές μονάδες που σχεδιάζονται για την επόμενη δεκαετία η συχνότητα είναι σχεδόν μικρότερη από 1 στα 10.000.000 έτη-αντιδραστήρα. Οι ίδιες προδιαγραφές ισχύουν και στα κράτη της Δυτικής Ευρώπης και στην Ιαπωνία [33].

Από τη δεκαετία του 1950 μέχρι σήμερα, συνέβησαν τρία μεγάλα ατυχήματα στο τομέα των πυρηνικών εργοστασίων: Στην Πενσυλβανία των ΗΠΑ ο σταθμός Three Mile Island (TMI) τον Μάρτη του 1979 προκλήθηκε ατύχημα το οποίο δεν επέφερε σοβαρές επιβαρύνσεις στο περιβάλλον και στην υγεία των ανθρώπων της γύρω περιοχής. Το δεύτερο έλαβε χώρα στον πυρηνικό σταθμό του Chernobyl της Ουκρανίας τον Απρίλιο του. Το ατύχημα στο Chernobyl παρουσίασε σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον καθώς και στην υγεία του πληθυσμού της γύρω περιοχής. Το τρίτο ατύχημα έγινε το 2011 στο εργοστάσιο της Φουκουσίμα το οποίο είχε σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον και στον πληθυσμό της περιοχής. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την αντίδραση της πυρηνικής βιομηχανίας η οποία και εξέλιξε τους αντιδραστήρες της σε όλο τον κόσμο. Αποτέλεσμα αυτού να έχουμε τις πέντε γενιές αντιδραστήρα [34],[35].

Αν και στατιστικά από πλευράς ατυχημάτων η ασφαλέστερη πηγή ηλεκτροπαραγωγής παραμένει η πυρηνική ενέργεια υπάρχουν αντιρρήσεις για την εγκατάσταση και χρήση πυρηνικών εργοστασίων. Επίσης πρέπει να επισημανθεί ότι δεν εκλύονται αέριοι ρύποι στην ατμόσφαιρα από την χρήση πυρηνικών εργοστασίων, όπως συμβαίνει με τις συμβατικές μορφές ενέργειας. Η ρύπανση του περιβάλλοντος σε περίπτωση ομαλής λειτουργίας ενός πυρηνικού εργοστασίου είναι αμελητέα έως μη μετρήσιμη γεγονός που το καθιστά το βασικότερο πλεονέκτημα της πυρηνικής ενέργειας.

Επίσης δόκιμος δείκτης αξιολόγησης της ασφάλειας αντιδραστήρων σε ομαλή κατάσταση λειτουργίας είναι η δόση που λαμβάνει ένα άτομο που διαμένει πλησίον του αντιδραστήρα

το οποίο φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα. Είναι ραδιολογικά αμελητέα καθώς είναι τέσσερις τάξεις μεγέθους κάτω από την αντίστοιχη από το φυσικό περιβάλλον.



Σχήμα 4.13: Δόσεις ακτινοβολίας [27]

Οι πυρηνικοί σταθμοί σχεδιάζονται με κριτήρια εξαιρετικά πιο αυστηρά από αυτά των υπόλοιπων εγκαταστάσεων ώστε σεισμοί, και άλλα εξωτερικά γεγονότα να μην θέτουν σε κίνδυνο τις εγκαταστάσεις. Κατά την κατασκευή λαμβάνεται υπ' όψη και η σεισμικότητα της εκάστοτε περιοχής για τον προσδιορισμό της θέσης εγκατάστασης, το σχεδιασμό και την κατασκευή των αντιδραστήρων. Οι πυρηνικοί αντιδραστήρες στη Γαλλία σχεδιάζονται ώστε να αντέχουν σεισμό μέχρι και διπλάσιας έντασης από τον υπολογιζόμενο ισχυρότερο σεισμό που ενδέχεται να συμβεί τα επόμενα χρόνια πάντα στην περιοχή εγκατάστασης του αντιδραστήρα. Οι πυρηνικοί σταθμοί είναι υποχρεωμένοι να διαθέτουν ένα αυτόματο σύστημα ασφάλειας το οποίο αποτελείται από αισθητήρες σεισμικής δραστηριότητας. Σε περίπτωση καταγραφής σεισμικής έντασης, ενεργοποιείται αυτόματα το σύστημα ασφάλειας που επιφέρει άμεσο κλείσιμο του αντιδραστήρα. Ο αντιδραστήρας είναι σε θέση να επαναλειτουργήσει ανά πάσα στιγμή. Πολλοί αντιδραστήρες για παράδειγμα στην Ιαπωνία έχουν βρεθεί σε σεισμούς, χωρίς να προκληθεί σοβαρό ατύχημα. Γενικά, μπορεί να κατασκευαστεί πυρηνικός σταθμός που θα αντέχει σε οποιαδήποτε σεισμική δόνηση απλώς το αγκάθι σε όλο αυτό είναι το κόστος υλοποίησής αυτού.

Η ασφάλεια των πυρηνικών εγκαταστάσεων βελτιώνεται μέρα με την μέρα, έχει φτάσει σε σημείο η πιθανότητα σοβαρού ατυχήματος με σημαντική έκλυση ραδιενέργειας στο περιβάλλον να είναι απειροελάχιστη με αναβάθμιση των υπάρχοντων σταθμών και με καλύτερο σχεδιασμό των μελλοντικών. Ατύχημα με μεγάλη έκλυση ραδιενέργειας από τον πυρήνα του αντιδραστήρα παρότι έχει μικρές πιθανότητες να συμβεί δεν έχει αποκλεισθεί από κανέναν αν και υπάρχουν τεχνικές περιορισμού των συνεπειών του.

4.5 Διαχείριση πυρηνικών αποβλήτων

Υλικά τα οποία περιέχουν αξιόλογη ποσότητα ραδιενεργών ισοτόπων ονομάζονται ραδιενεργά κατάλοιπα και έχουν προκύψει από χρήση ραδιενεργών υλικών. Συγκεκριμένα χωρίζονται σε χαμηλού επιπέδου, ενδιάμεσου επιπέδου και υψηλού επιπέδου κατάλοιπα, με κριτήρια το είδος της ραδιενέργειας και την ποσότητα. Επίσης διαθέτουν και τους αναμενόμενους χρόνους επιβίωσης των ραδιενεργών ισοτόπων που περιέχουν καθώς αυτή μειώνεται με την πάροδο του χρόνου. Στην ουσία τα ραδιενεργά ισότοπα μέσω της διάσπασης καταλήγουν σε ευσταθή μη ραδιενεργά ισότοπα.

Ως επί το πλείστον, τα προϊόντα της σχάσης είναι ραδιενεργά οπότε η ασφαλής διαχείριση των καταλοίπων επί πολλές χιλιετίες είναι αναγκαία, προκειμένου τα ραδιενεργά προϊόντα να παραμείνουν απομονωμένα και να μην εισέλθουν στη βιόσφαιρα και μέσω αυτής στην τροφική αλυσίδα.

Οι συστάδες του καυσίμου, αφού πρώτα εξαντληθούν και μετά εξαχθούν από την καρδιά, αποθηκεύονται προσωρινά σε δεξαμενή νερού στο πυρηνικό σταθμό. Η δεξαμενή με το νερό λειτουργεί, ως θωράκιση των ραδιενεργών συστάδων από τους εργαζομένους καθώς και ως ψυκτικό του χρησιμοποιημένου καυσίμου. Να αναφερθεί ότι στο εξαντλημένο καύσιμο υπάρχει θερμότητα από τη διάσπαση των ραδιενεργών προϊόντων. Η παραγόμενη θερμότητα και η παραμένουσα ραδιενέργεια πρέπει να μειωθούν σε επίπεδα που να επιτρέπουν τον ασφαλή χειρισμό τους αυτό συνήθως διαρκεί 5 χρόνια όσο δηλαδή κρατάει και η προσωρινή αποθήκευση τους.

Κανόνας των χωρών που διαθέτουν πυρηνικούς είναι η τελική εναπόθεση των μακρόβιων καταλοίπων σε βάθος από 500 έως 1.000 μέτρα στη γη. Η εναπόθεση γίνεται σε κατάλληλους γεωλογικούς σχηματισμούς που πληρούν τις απαραίτητες προδιαγραφές και συγχρόνως με την παρεμβολή πολλαπλών φραγμάτων μεταξύ των καταλοίπων και της βιόσφαιρας, φράγματα τέτοιου είδους θεωρούνται:

- ο μετασχηματισμός σε αδιάλυτη ευσταθή μορφή,
- σε στεγανά δοχεία έγκλειστα και ανθεκτικά στη διάβρωση και
- η τοποθέτηση των δοχείων σε βάθος από την επιφάνεια και σε ευσταθείς γεωλογικούς σχηματισμούς.

Τα ραδιενεργά κατάλοιπα κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

- Χαμηλού επιπέδου κατάλοιπα: πρόκειται για πυρηνικά κατάλοιπα από την υγεία, τα ερευνητικά και άλλα εργαστήρια και τη βιομηχανία, καθώς επίσης και από την πυρηνική βιομηχανία. Προέρχονται από εργαλεία, μπουκάλια, χαρτιά, ρουχισμό, φίλτρα και άλλα διότι περιέχουν μικρές ποσότητες κυρίως βραχύβιων ραδιοϊσοτόπων. Εν τέλει δεν είναι επικίνδυνα, αλλά και η απόρριψή τους στο περιβάλλον είναι λάθος.
- Ενδιάμεσου επιπέδου κατάλοιπα: κατάλοιπα τα οποία χρειάζονται θωράκιση περιέχουν ποσότητες ραδιενέργειας περιλαμβάνονται σε υλικά όπως ρητίνες, χημικά υγρά, εξαντλημένες ραδιενεργές πηγές καθώς και από αντικείμενα από αντιδραστήρες και άλλα. Στην πράξη τέτοια κατάλοιπα χρήζουν να κλειστούν σε θωράκιση τσιμέντου ή να εμποτιστούν σε τσιμέντο πριν από τη φύλαξη αν πρόκειται για υγρά αλλιώς η εναπόθεση σε επιβλεπόμενους χώρους είναι αναγκαία.
- Υψηλού επιπέδου κατάλοιπα: θεωρούνται τα κατάλοιπα μεγάλης ραδιενέργειας δηλαδή προϊόντα της σχάσης. Η διάσπαση των ραδιονουκλιδίων απαιτεί την ψύξη και την ειδική θωράκιση κατά το χειρισμό και τη μεταφορά τους είναι αναγκαία διότι εκλύονται μεγάλες ποσότητες θερμότητας.

Για την σωστή αντιμετώπιση των αποβλήτων έχουν επικρατήσει 2 πολιτικές:

- Αρχικά η ανακύκλωση δηλαδή ο διαχωρισμός των σχάσιμων από τα λοιπά ραδιενεργά υλικά. Στόχοι της ανακύκλωσης είναι ο περιορισμός των καταλοίπων και χρησιμοποίηση των χρήσιμων ουρανίου ξανά. Η τακτική αυτή ακολουθείται κυρίως από τις ευρωπαϊκές χώρες, πέραν της Σουηδίας.

Συγκεκριμένα οι συστάδες καυσίμου μεταφέρονται για ανακύκλωσης όπου γίνεται ο διαχωρισμός του ουρανίου και του πλουτωνίου από τα λοιπά ραδιενεργά προϊόντα τα οποία στην συνέχεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως σχάσιμο υλικό στους αντιδραστήρες. Τα εναπομένοντα ραδιενεργά κατάλοιπα οδηγούνται προς ασφαλή μακροχρόνια διαχείριση και αποθηκεύονται σε υγρή μορφή σε κατάλληλες δεξαμενές από ανοξείδωτο χάλυβα,

περιβαλλόμενες από σκυρόδεμα. Η διαδικασία ψύξης δεν σταματάει καθώς συνεχίζουν να παράγουν σημαντικές ποσότητες θερμότητας.

Η μέθοδος που εφαρμόζεται στην συνέχεια είναι ο μετασχηματισμός σε φυσικά ευσταθή και χημικά αδρανή μορφή όπου σήμερα σε βιομηχανική κλίμακα είναι η υαλοποίηση των καταλοίπων. Η διαδικασία αυτή επισπεύδεται από την αποξήρανση των καταλοίπων και συμπύκνωσή τους σε στεγνή πούδρα και στην συνέχεια αναμειγνύεται σε υγρό γυαλί. Το υγρό γυαλί τύπου πυρέξ χύνεται σε τεράστια δοχεία όπου και συμπυκνώνεται σε στερεό μάζας περίπου 400kg.

Εργοστάσια που λειτουργούν με αυτό τον τρόπο συναντάει κανείς στο Βέλγιο, στη Ρωσία, στη Γαλλία, στην Αγγλία, στην Ινδία και ένα μικρότερο στην Ιαπωνία, η οποία κατασκευάζει ένα μεγάλο εργοστάσιο υαλοποίησης καθώς μέχρι τώρα ανακυκλώνει στην Ευρώπη.

- Η δεύτερη πολιτική είναι η αντιμετώπιση της συστάδας εξαντλημένου καυσίμου ως κατάλοιπο. Η πολιτική αυτή ακολουθείται από τις ΗΠΑ, τη Σουηδία, και τον Καναδά. Καθώς θεωρούν ως οικονομικά μη ενδιαφέρον το διαχωρισμό του ουρανίου και πλουτωνίου, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το σύνολο της συστάδας του εξαντλημένου καυσίμου θεωρείται ως κατάλοιπο.

Οι συστάδες του κατάλοιπου φυλάσσονται στους πυρηνικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής για 5 έτη. Το διάστημα αυτό είναι είτε στις δεξαμενές νερού του είτε σε ξηρά αποθήκευση. Στην πράξη η ξηρά αποθήκευση αφού μείνει για 5 έτη ώστε η παραγόμενη θερμότητα καθώς και η εκπεμπόμενη ραδιενέργεια πέσουν σε επιθυμητά επίπεδα, μεταφέρεται και τοποθετείται σε δοχείο από μπετόν συγκεκριμένου πάχους, το οποίο λειτουργεί ως ασπίδα από την ραδιενέργεια. Η φυσική κυκλοφορία αέρα βοηθά στην ψύξη της συστάδας. Εξαίρεση αποτελεί και πάλι η Σουηδία, η οποία διαθέτει αποθήκευσης καταλοίπων από το 1988 όπου αποθηκεύονται σε δεξαμενή νερού για 40 έτη.

Από όποια πολιτική και να προέρχονται τα κατάλοιπα η οριστική τους εναπόθεση προβλέπεται να γίνει βαθιά στο έδαφος. Βέβαια όλα αυτά αφού παραμείνουν επί 40 έως 50 περίπου έτη στην προσωρινή αποθήκευση για τη μείωση της θερμότητας και της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Στην συνέχεια γίνεται η εναπόθεση σε βάθος 500 έως 1000 μέτρων σε γεωλογικό σχηματισμό του οποίου δεν διέρχονται ύδατα. Επίσης τα δοχεία πρέπει να καλυφθούν με ικανού πάχους υλικό όπως η μπετονιτική άργιλος.

Οι ΗΠΑ είναι η μόνη χώρα που διαθέτει εγκατάσταση εναπόθεσης ραδιενεργών καταλοίπων βαθιά στην ΓΗ κυρίως για τις συστάδες των ενόπλων δυνάμεων. Στην λίστα αυτών των χωρών θα μπει και η Σουηδία που προγραμματίζει εγκατάσταση οριστικής εναπόθεσης στο έδαφος μέχρι το 2020. Να επισημανθεί πως περιβαλλοντική ρύπανση από τέτοιου είδους κατάλοιπα έχει συμβεί κυρίως από τα πυρηνικά πολεμικά προγράμματα σε χώρες όπως η πρώην Σοβιετική Ένωση και οι ΗΠΑ.

Κεφάλαιο 5 Σύγκριση των ενεργειακών μορφών

5.1 Σύγκριση ως προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τα πρώτα χρόνια βασίστηκε στην καύση ορυκτών καυσίμων, η οποία λαμβάνει χώρα σε μεγάλο βαθμό και με έντονους ρυθμούς ακόμα και σήμερα σε πολλά μέρη της Γης. Φυσικό επακόλουθο αυτού οι συνέπειες στο περιβάλλον να είναι πολλές. Πιο συγκεκριμένα, μολύνεται η ατμόσφαιρα με αέριους ρύπους, επιδεινώνεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου, ρυπαίνεται το υδάτινο περιβάλλον και το έδαφος και επιπλέον διαταράσσονται τα χερσαία και τα υδάτινα οικοσυστήματα.

Τεχνολογίες με μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση βοηθούν θετικά στον περιορισμό της καταστροφής του περιβάλλοντος καθώς επίσης και η διάδοση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Καθώς η αύξηση της ενεργειακής ζήτησης είναι αναμενόμενη, η εισχώρηση των ανανεώσιμων πηγών να γίνει με γοργούς ρυθμούς ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Παρακάτω θα εξεταστούν και θα αναλυθούν οι συνέπειες των διαφόρων μεθόδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα θα εξεταστούν 3 άξονες οι επιπτώσεις στην ατμόσφαιρα, στο υδάτινο περιβάλλον καθώς επίσης και στο έδαφος.

5.1.1 Επιπτώσεις των τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής στην ατμόσφαιρα

Τα ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροπαραγωγή, ευθύνονται για το μεγαλύτερο ποσοστό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Εντούτοις, προβλήματα ρύπανση της ατμόσφαιρας προκαλείται και από κάποιες τεχνολογίες ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, σε πολύ μικρό ποσοστό.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου αποτελεί την σημαντικότερη συνιστώσα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η κατάσταση του φαινομένου του θερμοκηπίου παραμένει ανησυχητική παρότι έχουν ληφθεί και εφαρμοστεί δεκάδες μέτρα.

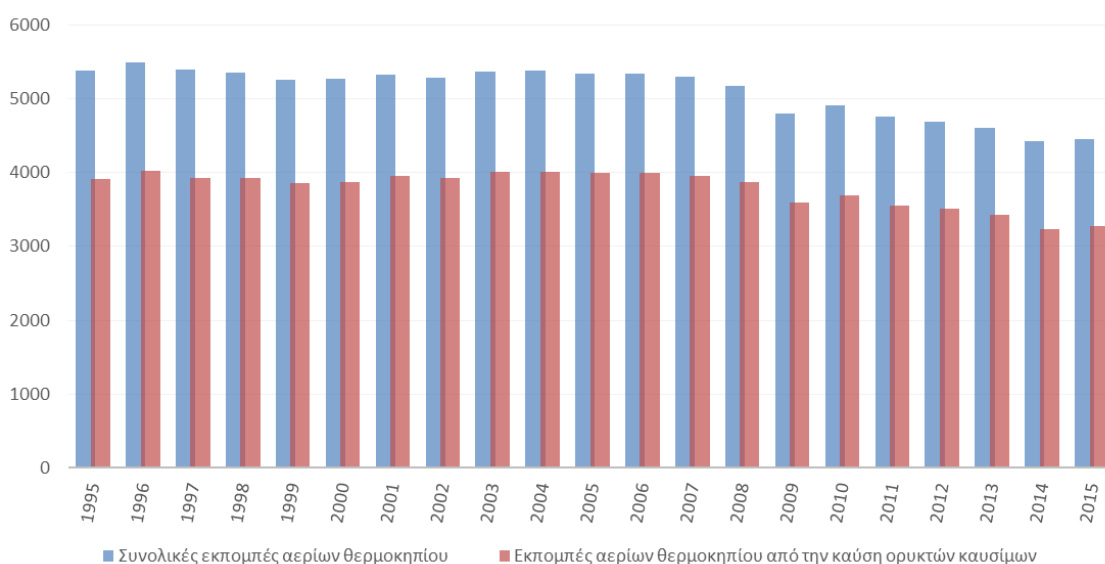
Ένα μέρος από το σύνολο της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάτε από το σύστημα γης και ατμόσφαιρας ενώ το υπόλοιπο διαφεύγει στο διάστημα. Την στιγμή της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας το 30% ανακλάται ενώ το υπόλοιπο 70% απορροφάτε συνήθως από την ατμόσφαιρα, τα νέφη, την επιφάνεια της γης και τους ωκεανούς. Ένα κομμάτι της

ακτινοβολίας περνά αναλλοίωτη στην ατμόσφαιρα φτάνοντας στην επιφάνεια του εδάφους απ' όπου με μεγαλύτερο μήκος κύματος ακτινοβολείται. Επίσης ένα μέρος αυτής ελκύεται από την ατμόσφαιρα, τη θερμαίνει και επανεκπέμπεται στο έδαφος. Το στρώμα των αερίων εγκλωβίζει την ακτινοβολία παρότι επιτρέπει τη διέλευση της, παρόμοια διαδικασία με τα θερμοκήπια. Ο τρόπος αυτός καθιστά τη γήινη ατμόσφαιρα να συμπεριφέρεται ως πηγή θερμότητας. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου το οποίο είναι μια φυσική διεργασία που εξασφαλίζει μια σταθερή θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους γύρω στους 15°C ώστε να είναι κατοικήσιμη. Η θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας χωρίς το φαινόμενο του θερμοκηπίου θα ήταν σε ετήσια βάση περίπου -18°C.

Τα αέρια που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, ονομάζονται αέρια του θερμοκηπίου. Η ανθρώπινη δραστηριότητα οφείλεται κυρίως για την συγκέντρωση πολλών αερίων του θερμοκηπίου και πιο συγκεκριμένα του διοξειδίου του άνθρακα ενώ ταυτόχρονα ενισχύεται η έκλυση χλωροφθορανθράκων. Το μεγαλύτερο μέρος του διοξειδίου του άνθρακα παράγεται από την καύση των ορυκτών καυσίμων πιο συγκεκριμένα καταλαμβάνει τα 2/3 και το υπόλοιπο από διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στο έδαφος.

Στο Σχήμα 5.1 διακρίνονται το σύνολο των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση από το 1995 μέχρι το 2015, καθώς επίσης και οι εκπομπές που αφορούν την ενέργεια.

Εκατομμύρια τόνοι αέρια του θερμοκηπίου ισοδύναμου CO₂/έτος



Σχήμα 5.1: Συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην Ευρώπη των 28 χωρών την περίοδο 1995-2015 και αντίστοιχες εκπομπές από την καύση των ορυκτών καυσίμων [36].

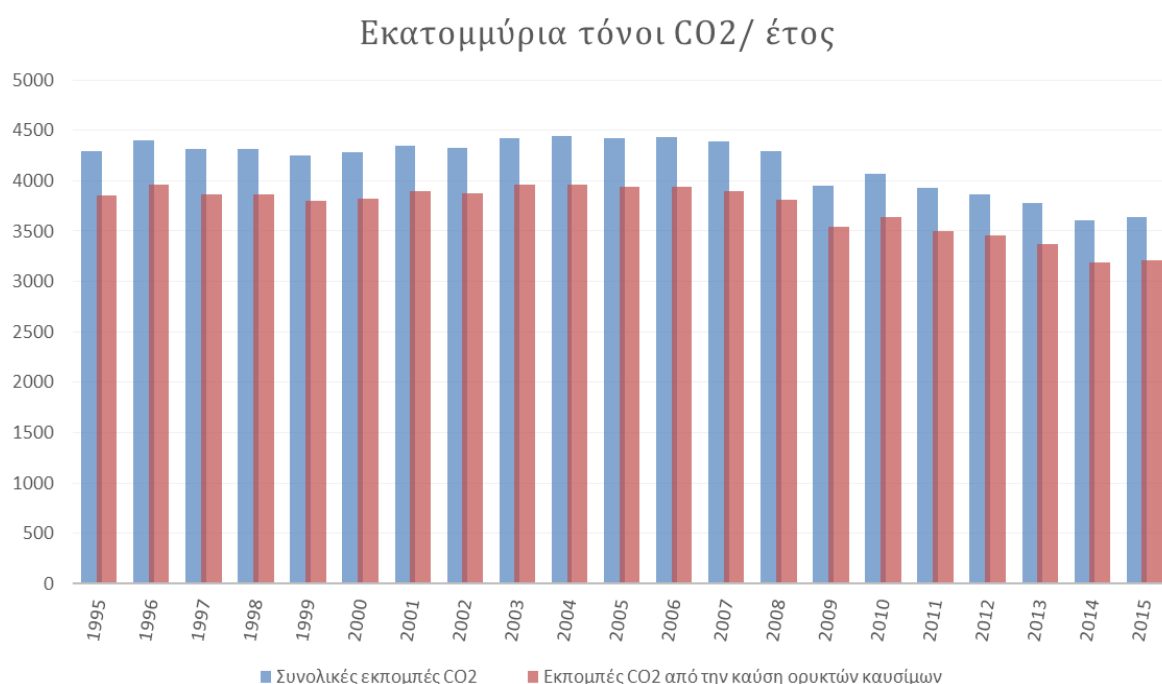
Όπως μπορεί να διακρίνει κανείς από το προηγούμενο σχήμα, η παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου οφείλεται κατά πολύ στην παραγωγή ενέργειας με μπροστάρη τα ορυκτά καύσιμα.

Τα σημαντικότερα αέρια στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι τα εξής:

- Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Η καύση των ορυκτών καυσίμων όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως συμβάλλει τα μέγιστα για την αύξηση συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα οπότε και με την σειρά του στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Καταλαμβάνει το 0.04% της ατμόσφαιρας αλλά παραμένει ίσως το σημαντικότερο αέριο του θερμοκηπίου.

Στο σχήμα 5.2 διακρίνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην Ευρώπη των 28 χωρών από το 1995 μέχρι το 2015, καθώς επίσης και οι εκπομπές που αφορούν την καύση των ορυκτών καυσίμων.



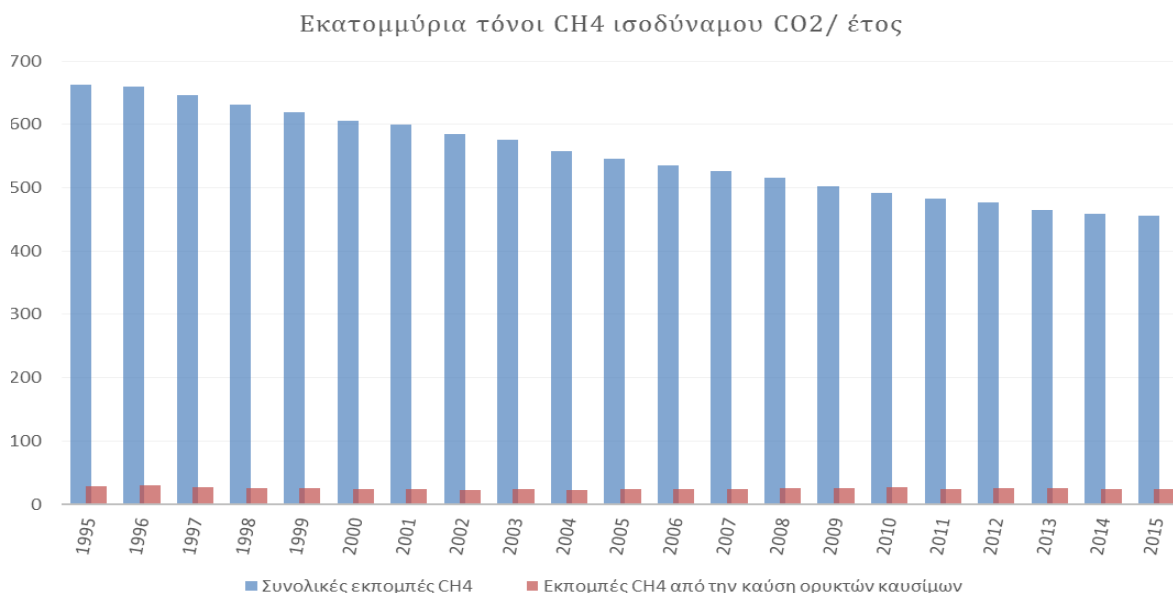
Σχήμα 5.2: Συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην Ευρώπη των 28 χωρών 1995-2015 καθώς επίσης και εκπομπές από την καύση των ορυκτών καυσίμων. [36]

Από το Σχήμα 5.2, παρατηρεί κανείς πως η παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα την τελευταία εικοσαετία οφείλεται ως επί το πλείστον στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής από την καύση ορυκτών καυσίμων. Επίσης, η παραγόμενη ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα παραμένει σχεδόν σταθερή όλα αυτά τα χρόνια με μικρές αυξομειώσεις.

- Το μεθάνιο (CH₄)

Μεθάνιο ένα αέριο άχρωμο και άοσμο βρίσκεται σε αφθονία στην φύση σε ποσοστά 70% έως 90% ενώ είναι και το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου. Τον τελευταίο αιώνα παρατηρείτε έντονη αύξηση της συγκέντρωσης, λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας και της μαζικής κτηνοτροφίας βοοειδών. Η συνεισφορά του μεθανίου στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ιδιαίτερα σημαντική με σχετικά υψηλό δυναμικό θέρμανσης. Συγκεκριμένα με την πάροδο του χρόνου οξειδώνεται στην ατμόσφαιρα παράγοντας διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμούς η διάρκεια ημιζωής του είναι περίπου επτά χρόνια. Ποσότητες μεθανίου παρατηρούνται και στους ωκεανούς καθώς επίσης και στους πάγους, ποσότητες μεθανίου που έχουν επιπλέον συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, επιταχύνοντας τη διαδικασία αύξησης της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη.

Στο σχήμα 5.3 διακρίνονται οι εκπομπές μεθανίου στην Ευρώπη των 28 χωρών από το 1995 μέχρι το 2015, καθώς επίσης και η αντίστοιχη συμμετοχή της καύσης των ορυκτών καυσίμων στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



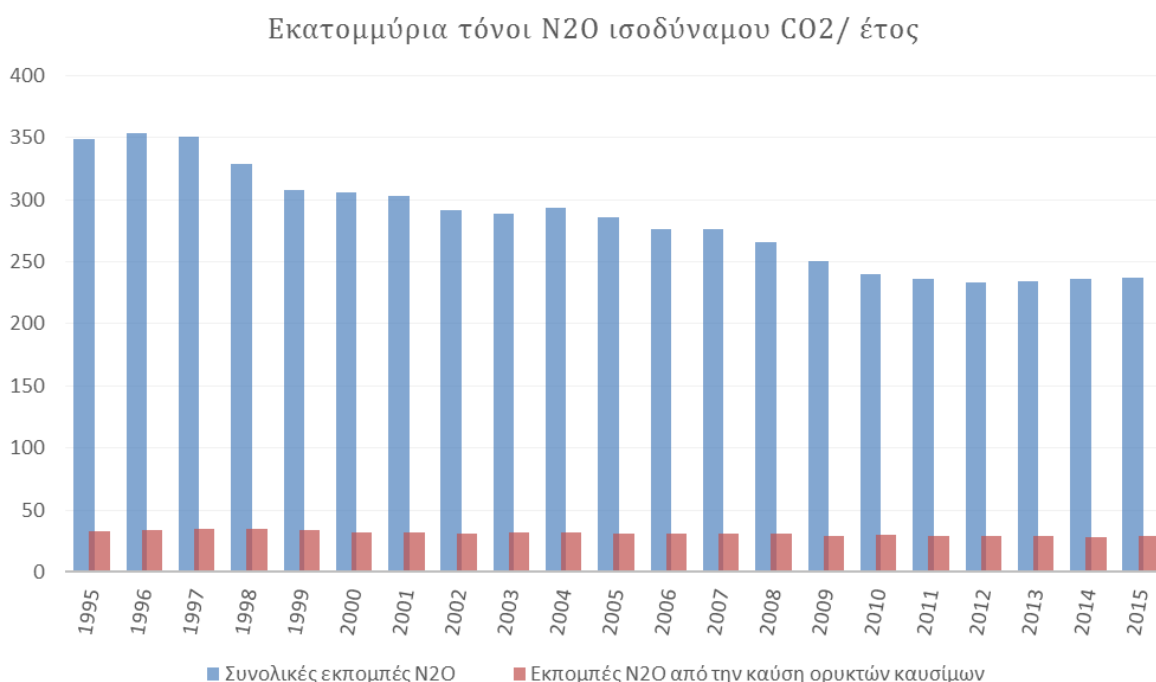
Σχήμα 5.3: Συνολικές εκπομπές μεθανίου στην Ευρώπη των 28 χωρών την περίοδο 1995-2015 και αντίστοιχες εκπομπές από την καύση ορυκτών καυσίμων [36].

Από το σχήμα 5.3 είναι εμφανές ότι ο τομέας της ηλεκτροπαραγωγής συμβάλλει κατά ένα πολύ μικρό ποσοστό στις συνολικές εκπομπές μεθανίου. Επίσης φαίνεται ότι τα τελευταία χρόνια η παραγωγή μεθανίου μειώνεται στο σύνολό της από την καύση ορυκτών καυσίμων.

- Υποξείδιο του αζώτου (N₂O)

Πρόκειται για άχρωμο, μη εύφλεκτο αέριο με ελαφριά κάπως γλυκιά γεύση και οσμή. Η επιστήμη της ιατρικής το χρησιμοποιεί ως αναισθητικό καθώς και στην καταστροφή του όζον στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Τα αζωτούχα λιπάσματα, η κοπριά των ζώων, η καύση της βιομάζας και των ορυκτών καυσίμων είναι κάποιες από τις διεργασίες για την παραγωγή του Υποξείδιου του αζώτου. Η ανθρώπινη δραστηριότητα ευθύνεται για το ένα τρίτο για των συνολικών εκπομπών υποξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα.

Στο Σχήμα 5.4 διακρίνονται οι εκπομπές υποξειδίου του αζώτου στην Ευρώπη των 28 χωρών από το 1995 μέχρι το 2015, καθώς επίσης κι η συμμετοχή της καύσης των ορυκτών καυσίμων.



Σχήμα 5.4: Συνολικές εκπομπές υποξειδίου του αζώτου στην Ευρώπη των 28 χωρών την περίοδο 1995-2015 και αντίστοιχες εκπομπές από την καύση ορυκτών καυσίμων [36].

Η εκπομπή υποξειδίου του αζώτου όπως μπορεί να διακρίνει κανείς από το σχήμα ακολουθεί μια πτωτική τάση. Επίσης, οι αντίστοιχες εκπομπές από την καύση των ορυκτών καυσίμων, εμφανίζουν και αυτές πτωτική τάση. Εν τέλει οι εκπομπές από την καύση ορυκτών καυσίμων ανέρχεται σε ένα ποσοστό της τάξεως του 6,5-10,5% των συνολικών.

Από την καύση των ορυκτών καυσίμων δεν παράγονται φθοριούχα αέρια γι' αυτό και δεν εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική.

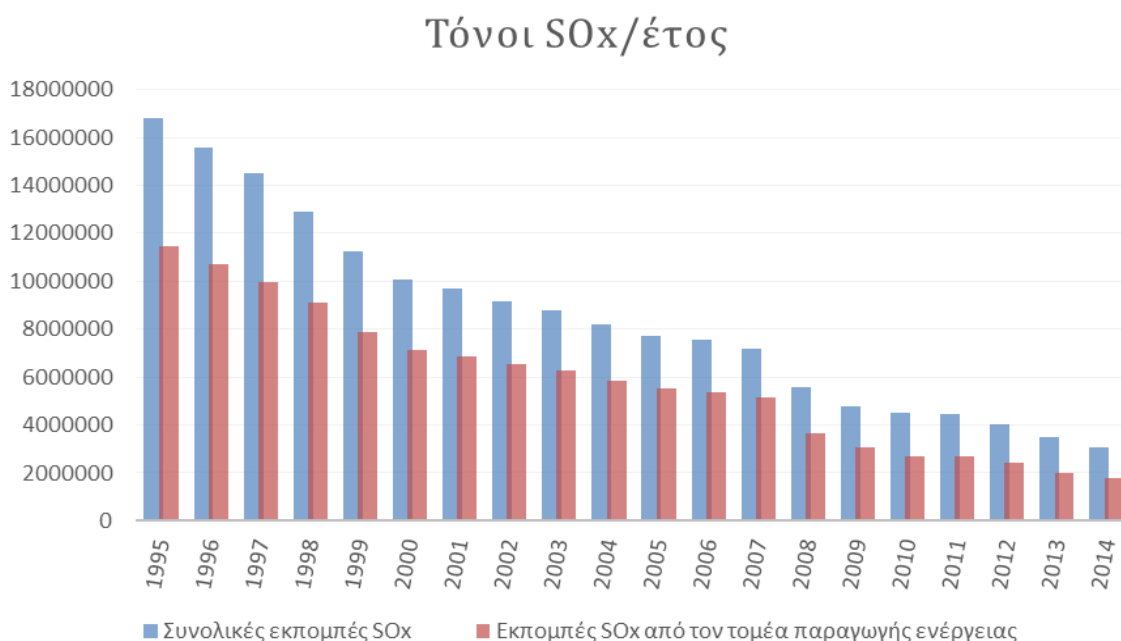
Κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων εκτός από τα αέρια του θερμοκηπίου υπάρχουν και άλλοι ρύποι οι οποίοι ευθύνονται για ορισμένα φαινόμενα ρύπανσης της ατμόσφαιρας. Μερικούς από τους σημαντικότερους ρύπους εξετάζονται παρακάτω.

- Οξειδία του θείου (SO_x)

Πρόκειται για αέρια άχρωμα με ιδιαίτερη οσμή, τα οποία σχηματίζονται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων και ιδιαίτερα του άνθρακα και του πετρελαίου. Συγκεκριμένα είναι από τους σημαντικότερους ρύπους της ατμόσφαιρας καθώς επίσης ευθύνονται για το φαινόμενο της όξινης βροχής. Επίσης είναι ιδιαίτερα βλαβερά για την ανθρώπινη υγεία αλλά και για το φυτικό περιβάλλον. «Με τον όρο όξινη βροχή, αναφερόμαστε στο φαινόμενο των ασυνήθιστα όξινων μετεωρολογικών κατακρημνισμάτων, λόγω της διάλυσης ρύπων στην ατμόσφαιρα, στον υδάτινο αποδέκτη, κλπ.» Η όξινη βροχή θεωρείται αρκετά επιβλαβές για το για το υδάτινο περιβάλλον. Επίσης, μειώνεται το pH του εδάφους αυτό συνεπάγεται με προβλήματα επιβίωσης.

Παρακάτω, στο Σχήμα 5.5, φαίνονται οι συνολικές εκπομπές οξειδίων του θείου στην Ευρώπη από το 1995 μέχρι το 2014, καθώς και η αντίστοιχη συμμετοχή της παραγωγής ενέργειας.

Από το σχήμα διακρίνεται η ραγδαία μείωση των εκπομπών οξειδίων του θείου το οποίο οφείλεται σε συγκεκριμένη ενεργειακή πολιτική που ακολούθησαν τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τέλος από το Σχήμα 5.5 φαίνεται πως οι εκπομπές οξειδίων του θείου στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής κυμαίνεται μεταξύ 55% και 65%.

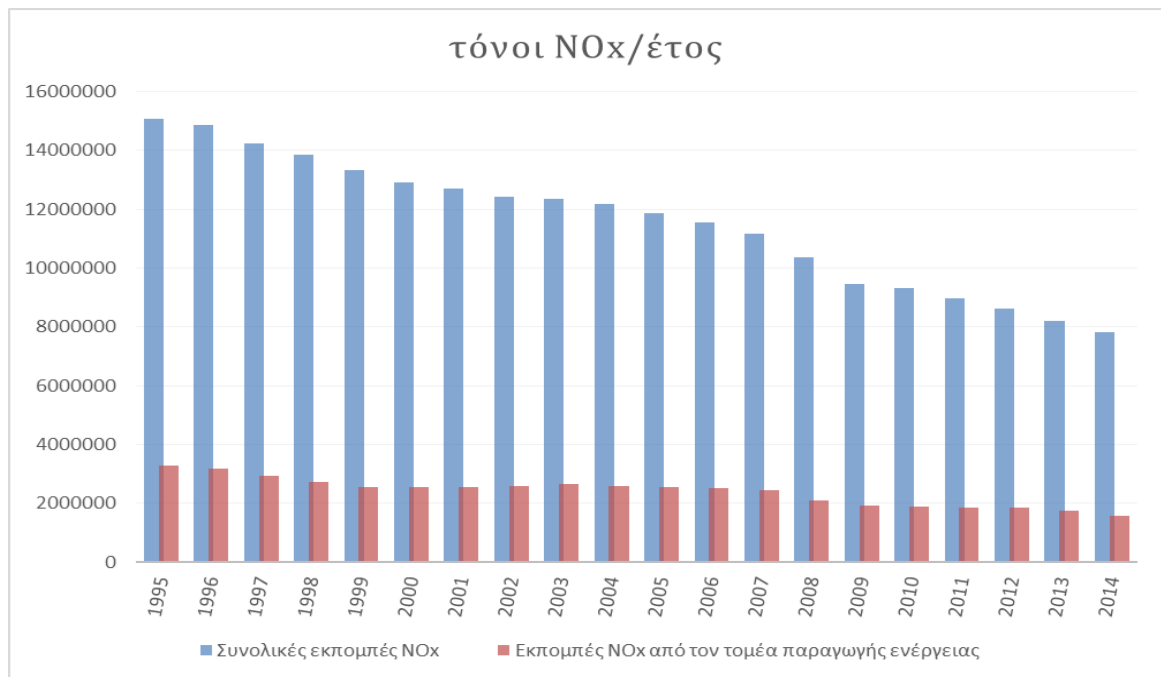


Σχήμα 5.5: Συνολικές εκπομπές οξειδίων του θείου στην Ευρώπη από το 1995 μέχρι το 2014, καθώς και η αντίστοιχη συμμετοχή της παραγωγής ενέργειας [36]

- Οξείδια του αζώτου (NO_x)

Πρόκειται για μίγμα μονοξειδίου του αζώτου (NO) και διοξειδίου του αζώτου (NO₂) που υπάρχει στην ατμόσφαιρα το οποίο αποτελεί έναν από τους βασικούς της ρύπους. Συγκεκριμένα το μονοξείδιο του αζώτου είναι αέριο γλυκιά οσμή και είναι άχρωμο μπορεί και καφέ σε απλές συνθήκες, ενώ το διοξείδιο του αζώτου είναι άχρωμο έως καφέ υγρό σε θερμοκρασία δωματίου, σε θερμοκρασίες άνω των 40° C μετατρέπεται σε καφεκόκκινο αέριο η οσμή του έντονη γλυκιά οσμή. Τα οξείδια του αζώτου συμβάλλουν στη δημιουργία της όξινης βροχής καθώς όταν αντιδρούν με το νερό και σχηματίζουν νιτρικό οξύ. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να ευθύνονται για την καταστροφή της οζονόσφαιρας επιτρέποντας σε μεγάλο μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας να εισέλθει στην επιφάνεια της γης.

Στο Σχήμα 5.6 διακρίνονται οι συνολικές εκπομπές οξειδίων του αζώτου στην Ευρώπη από το 1995 μέχρι το 2014, καθώς και η αντίστοιχη συμμετοχή της παραγωγής ενέργειας.



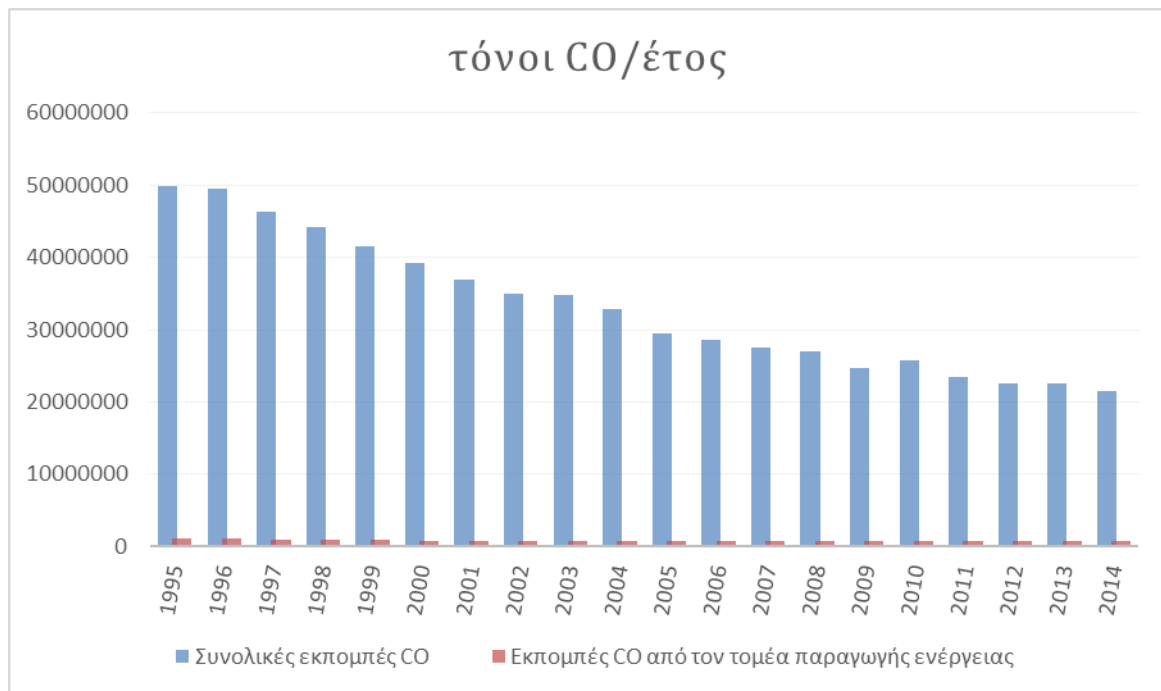
Σχήμα 5.6: Συνολικές εκπομπές οξειδίων του αζώτου στην Ευρώπη την περίοδο 1995-2014 και αντίστοιχες εκπομπές από τον τομέα της ενέργειας [36].

Από το σχήμα καταλαβαίνει κανείς πως η παραγωγή οξειδίων του αζώτου από το 1990, μέχρι σήμερα παρουσιάζει σταδιακή μείωση ενώ η παραγωγή οξειδίων του αζώτου που οφείλεται στο κομμάτι της ηλεκτροπαραγωγής παρουσιάζει ελάχιστες αυξομειώσεις, αυτό οφείλεται στο θεσμικό πλαίσιο που ακολουθούν τα κράτη μέλη. Επίσης η εκπομπή οξειδίων του αζώτου από τον ενεργειακό τομέα βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα και είναι περίπου 18% με 23%.

- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Πρόκειται για άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο. Είναι τοξικό για τον ανθρώπινο οργανισμό και τα ζώα ακόμα και σε μικρές ποσότητες, παρότι παράγεται σε μικροποσότητες από τον κανονικό ζωικό μεταβολισμό. Το μονοξείδιο του άνθρακα παράγεται συνήθως όταν τα ποσοστά οξυγόνου είναι σε χαμηλά επίπεδα για να παραχθεί διοξείδιο του άνθρακα. Οι μεγαλύτερες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα παράγονται με φυσικό τρόπο.

Στο σχήμα 5.7 διακρίνονται οι συνολικές εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα στην Ευρώπη από το 1995 μέχρι το 2014, καθώς και η αντίστοιχη συμμετοχή της παραγωγής ενέργειας.



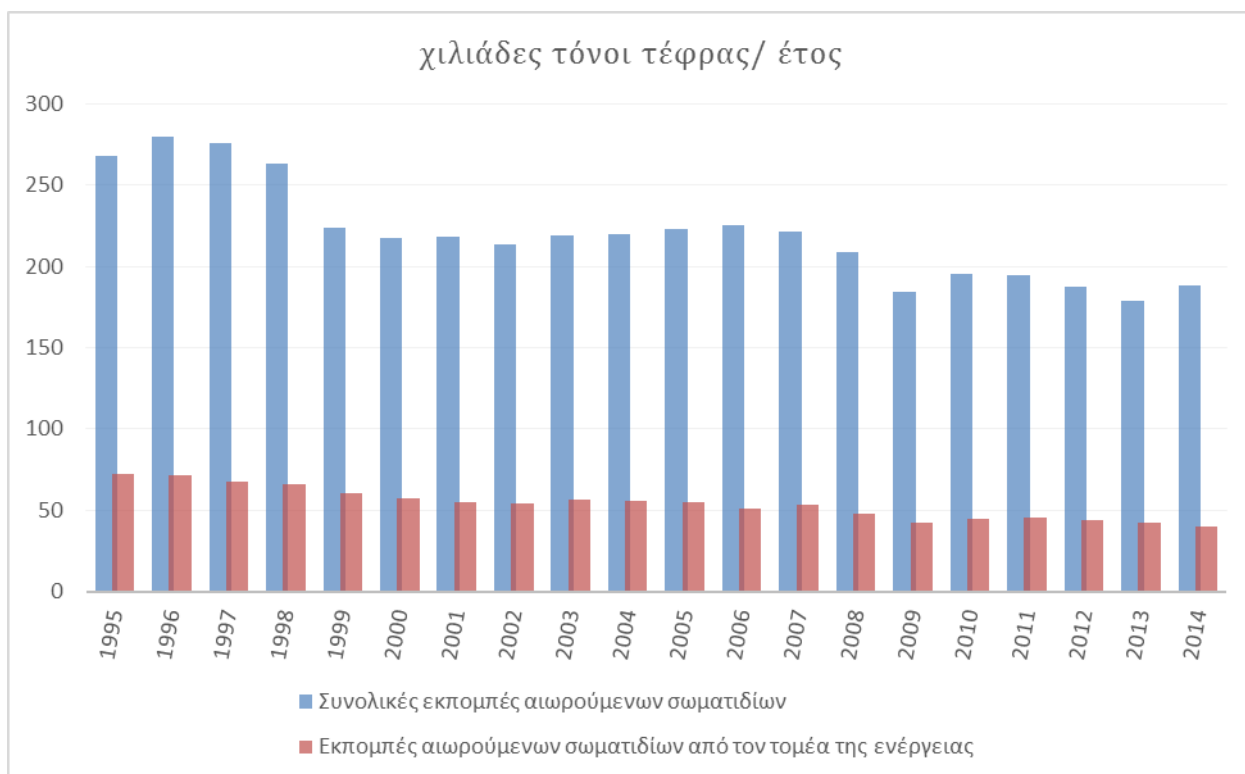
Σχήμα 5.7: Συνολικές εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα στην Ευρώπη 1995-2014 και αντίστοιχες εκπομπές από τον τομέα της ενέργειας. [36]

Οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα σύμφωνα με το διάγραμμα παρουσιάζουν συνεχή πτωτική τάση καθώς και οι εκπομπές λόγω παραγωγής ενέργειας, το οποίο οφείλεται σε συγκεκριμένη ενεργειακή πολιτική που ακολούθησαν τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Επίσης, η συμμετοχή του ενεργειακού τομέα στις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα κρατείται σε χαμηλά επίπεδα περίπου της τάξης του 2% έως 3%.

- Τέφρα

Τέφρα είναι αιωρούμενα σωματίδια τα οποία έχουν διάμετρο μικρότερη από 10 μm και συναντώνται σε μεγάλες ποσότητες σε βιομηχανικές και αστικές περιοχές. Πολλές φορές είναι το σύνολο των πυροκλαστικών θραυσμάτων που εκτοξεύονται κατά τη διάρκεια των ηφαιστειακών δράσεων.

Στο Σχήμα 5.8 διακρίνονται οι συνολικές εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων στην Ευρώπη από το 1995 μέχρι το 2014, καθώς και η αντίστοιχη συμμετοχή της παραγωγής ενέργειας.



Σχήμα 5.8: Συνολικές εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων στην Ευρώπη των 28 χωρών την περίοδο 1995-2014 και αντίστοιχες εκπομπές από τον τομέα της ενέργειας. [36]

Παραπάνω είχε ειπωθεί πως οι ανανεώσιμες πηγές και οι πυρηνικές τεχνολογίες κατά την ηλεκτροπαραγωγή επιφέρουν και αυτές επιβάρυνση στην ατμόσφαιρα αλλά πολύ μικρότερης κλίμακας.

Συγκεκριμένα τα πυρηνικά εργοστάσια εκλύουν μεγάλα ποσά θερμότητας στην ατμόσφαιρα, συμμετέχοντας με αυτόν τον τρόπο στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης. Επίσης μονάδες που λειτουργούν με ανανεώσιμες μορφές ενέργειας η γεωθερμικές πηγές εκπέμπουν πολλούς και σημαντικούς αέριους ρύπους όπως είναι το μεθάνιο (CH_4) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), ρύπους που πρωταγωνιστούν στα αέρια του θερμοκηπίου. Ακόμα να αναφερθεί πως από τις γεωθερμικές πηγές εκλύεται και υδρόθειο (H_2S) το οποίο φημίζεται για την έντονη και ιδιαίτερη οσμή του, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να είναι μη αποδεκτά από τοπικές κοινωνίες [37],[38].

Εν τέλει ποσότητες αερίων ρύπων εκπέμπονται και από μονάδες βιομάζας. Πιο συγκεκριμένα σημαντικές ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα (CO) οι οποίες είναι

επιβλαβές και για τον ανθρώπινο οργανισμό όσο για το ίδιο το περιβάλλον. Επίσης έχει παρατηρηθεί πως και σε μονάδες καύσης απορριμμάτων εκπέμπεται μονοξείδιο του άνθρακα (CO), διοξείδιο του θείου (SO₂), διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), οξειδία του αζώτου (NO_x), υδροχλώριο (HCl), κλπ. Ένα άλλο ατμοσφαιρικό πρόβλημα είναι παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, η οποία παρατηρείται κατά την διάρκεια κατασκευής των ανανεώσιμων πηγών το οποίο είναι σε αρκετά περιορισμένο βαθμό [39].

5.1.2 Επιδράσεις των τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής στους υδάτινους αποδέκτες

Ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα είναι η ρύπανση των υδάτων, βάζοντας σε κίνδυνο την ζωή πάρα πολλών ζωντανών οργανισμών. Αυτό οφείλεται κυρίως στην ανθρώπινη δραστηριότητα και πιο συγκεκριμένα στη βιομηχανική δράση. Η ρύπανση αυτή επιτυγχάνεται με δύο τρόπους. Είτε με την απελευθέρωση ενέργειας σε μορφή θερμότητας ή ραδιενέργειας αυξάνοντας την θερμοκρασία δηλαδή το φαινόμενο της θερμικής ρύπανσης είτε με την παρουσία ουσιών σε ποσότητες που ξεπερνούν τα φυσιολογικά όρια. Ένας από τους συμμετέχοντες της ρύπανσης αυτής είναι και ο τομέας της παραγωγής ενέργειας.

Κατά την διαδικασία της ηλεκτροπαραγωγής η εκπομπή των ατμοσφαιρικών ρύπων στην ατμόσφαιρα ρυπαίνουν όπως είναι φυσικό, λόγω του φαινομένου της όξινης βροχής, τα μετεωρολογικά κατακρημνίσματα τα οποία καταλήγουν σε λίμνες, ποτάμια και θάλασσες. Επίσης συχνό φαινόμενο είναι η συστηματική απόρριψη αποβλήτων σε κάποιο υδάτινο φορέα αποτέλεσμα αυτού η έμμεση επίπτωση των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής στον υδάτινο αποδέκτη καθώς επίσης και η συντήρηση φωτοβολταϊκών διατάξεων απαιτεί χρήση χημικών και τοξικών ουσιών και οι οποίες καταλήγουν με την σειρά τους στους υδάτινους αποδέκτες.

Επίσης υπάρχει και η θερμική ρύπανση η οποία αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του προβλήματος γύρω από την ρύπανση σε υδάτινους χώρους αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής. Πιο συγκεκριμένα σταθερή μέση θερμοκρασία του υδάτινου περιβάλλοντος έχει ζωτική σημασία για τους ζωντανούς οργανισμούς που βρίσκονται σε αυτό. Συνήθως τέτοιου είδους μονάδες κατασκευάζονται σε τοποθεσίες όπου υπάρχει μεγάλη ποσότητα νερού, διότι το χρειάζονται σαν ψυκτικό μέσο και αφού χρησιμοποιηθεί επιστρέφει στον υδάτινο φορέα. Ακόμα και σε μονάδες βιομάζας αλλά και

σε γεωθερμικές πηγές παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο με το προηγούμενο. Αποτέλεσμα αυτών η αύξηση της θερμοκρασίας των υδάτων διαταράσσοντας τις ισορροπίες του οικοσυστήματος που ζει στον υγρότοπο. Τέλος να αναφερθεί πως μικροπροβλήματα στη λειτουργία των πυρηνικών σταθμών μπορούν να οδηγήσουν σε ραδιενεργή ρύπανση του ψυκτικού και αυτά με την σειρά τους τον υδάτινο φορέα [40].

Ακόμα να τονιστεί πως και τα υδροηλεκτρικά έργα με φράγμα και ταμιευτήρα είτε είναι μικρά είτε μεγάλα επηρεάζουν έμμεσα τους υδάτινους ζωντανούς οργανισμούς. Καθώς με την διακοπή της φυσικής ροής του ποταμού έχουμε προβλήματα υδροληψίας των οικοσυστημάτων. Τέλος λόγω των προβλημάτων αυτών έχουν ληφθεί μέτρα αντιμετώπισής του και έχουν περιοριστεί σε μεγάλο βαθμό ένα από αυτά οι τεχνητές δίοδοι ιχθύων.

Με την εγκατάσταση των διατάξεων της κυματικής ενέργειας επηρεάζονται τα θαλάσσια οικοσυστήματα διότι λειτουργούν ως τεχνητοί ύφαλοι καθώς επίσης και η απελευθερώνονται και χρωστικές ουσίες επηρεάζοντας αρνητικά τα βενθικά οικοσυστήματα [41],[42],[43].

5.1.3 Επιδράσεις των τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής στο έδαφος

Οι ρύποι που αναφέρθηκαν παραπάνω είτε από την ατμόσφαιρα είτε από τους υδάτινους αποδέκτες καταλήγουν στο έδαφος μέσω του ανέμου και της βροχής. Εν τέλει το έδαφος καταλήγει να είναι τόσο φτωχό σε θρεπτικά συστατικά που απορρίπτει σχεδόν όλα τα είδη καλλιέργειας καθώς επίσης έχουμε και την εξαφάνιση πολλών χερσαίων οικοσυστημάτων.

Η διαδικασία εξόρυξης των ορυκτών καυσίμων δεν θα μπορούσε να λείπει από τους παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά το έδαφος. Οι επιπτώσεις ποικίλουν ανάλογα με το βάθος της εξόρυξης και τον τύπο του ορυκτού καυσίμου. Ακόμα, συχνά συμβαίνουν και καθιζήσεις στους τόπους αυτούς.

Εντούτοις η χειρότερη επίδραση που μπορεί να δεχτεί το έδαφος είναι η απόθεση σε αυτό των ραδιενεργών υλικών από τους πυρηνικούς σταθμούς. Πρωτίστως από την εξόρυξη του ουρανίου, καθώς μαζί εξορύσσονται και διάφορα άλλα υλικά τα οποία μπορεί να είναι και ραδιενεργά. Ακόμα, σε περιοχές όπου υπάρχει γεωθερμικός σταθμός παρατηρείται πολλές φορές αύξηση της σεισμικότητας του εδάφους [38], [41], [42], [44].

Επίσης, οι μονάδες παραγωγής ενέργειας από την αξιοποίηση της θαλάσσιας και κυματικής ενέργειας μπορούν να επιφέρουν μεταβολές στο χερσαίο περιβάλλον καθώς

ανακατατάσσουν τα θαλάσσια ρεύματα με αποτέλεσμα να δημιουργείται ο κίνδυνος παράκτιας διάβρωσης, ο οποίος αυξάνεται ανάλογα με την απόσταση από την ακτή [43].

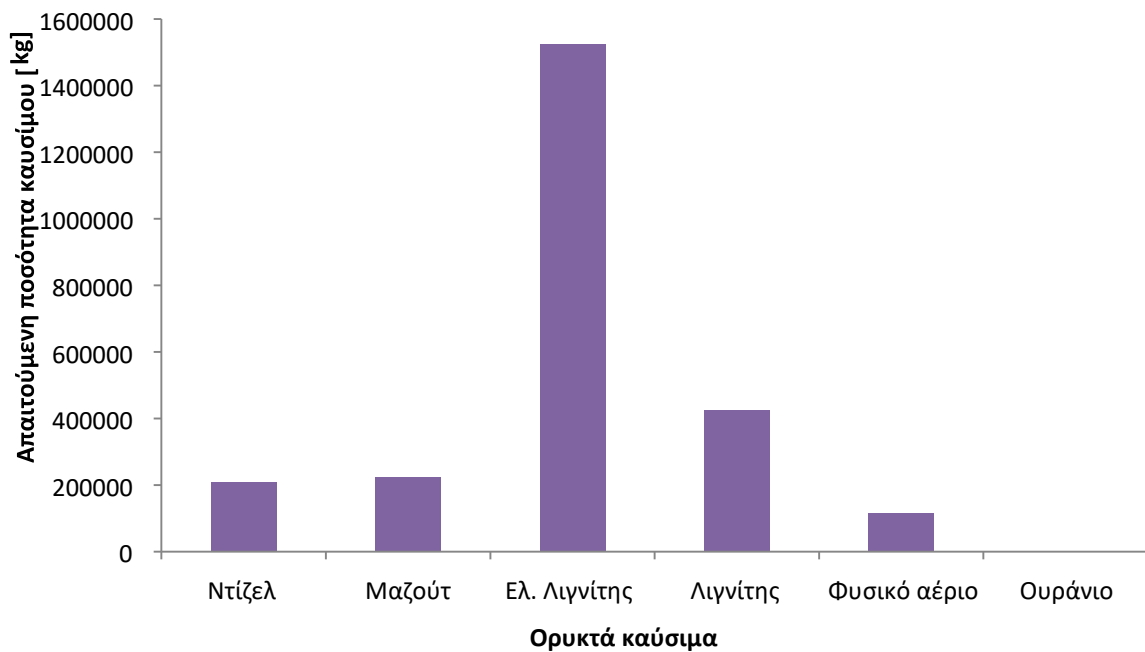
5.2 Σύγκριση των ορυκτών καυσίμων ως προς τους παραγόμενους ρύπους

Όπως έχει αναφερθεί ουκ ολίγες φορές η εκπομπή αερίων ρύπων στην ατμόσφαιρα από την καύση των ορυκτών καυσίμων είναι η κύρια περιβαλλοντική συνέπεια στον τομέα της παραγωγής ενέργειας. Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει σύγκριση των ενεργειακών πηγών καθώς επίσης θα εξεταστούν και τα ορυκτά καύσιμα ως προς την ποσότητα των αερίων ρύπων που παράγουν πάντα σε συνδυασμό με την ποσότητα καυσίμου που χρειάζεται για ισόποση παραγωγή ενέργειας.

Πρώτο βήμα ο υπολογισμός της ποσότητας που απαιτείται για την παραγωγή μιας γιγαβατώρας (GWh). Διαιρώντας την θερμική ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή μιας γιγαβατώρας με τη θερμογόνο δύναμη του εκάστοτε καυσίμου προκύπτει η ποσότητα αυτή. Η ποσότητα της θερμικής ενέργειας που απαιτείται προκύπτει διαιρώντας την ποσότητα της θερμικής ενέργειας που υπάρχει σε μία γιγαβατώρα (3.6 TJ) με την απόδοση της αντίστοιχής τεχνολογίας ηλεκτροπαραγωγής για το κάθε καύσιμο.

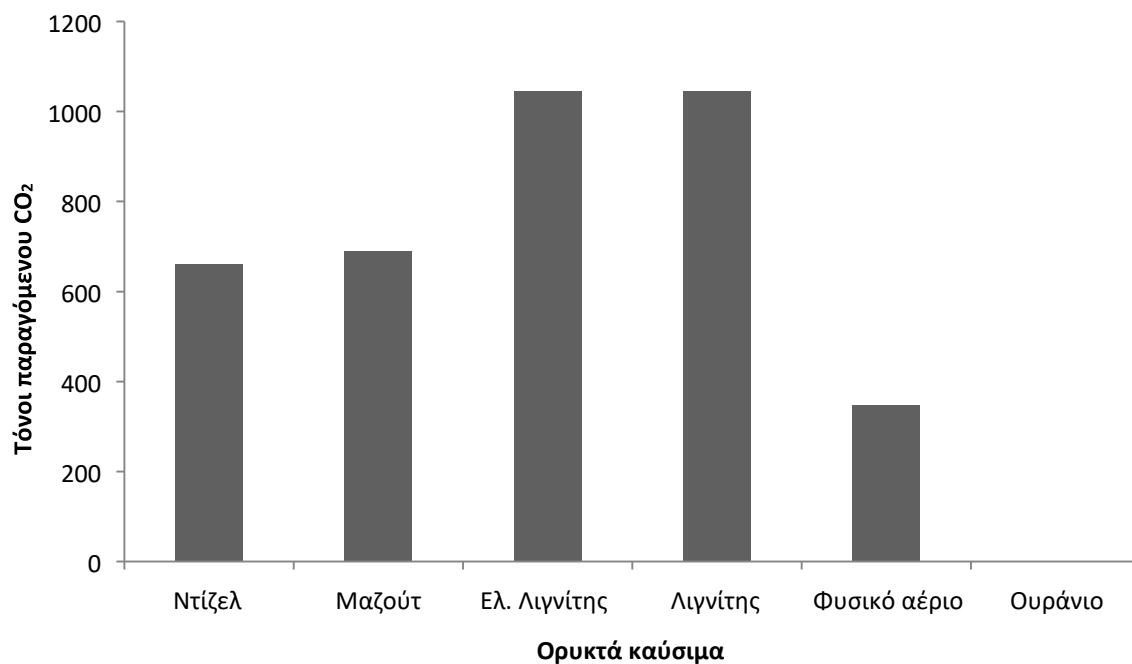
Στο παρακάτω Σχήμα 5.9 παρουσιάζεται πόση ποσότητα καυσίμου χρειάζεται για την παραγωγή μιας γιγαβατώρας.

Από το σχήμα καταλαβαίνει κανείς πως το ουράνιο είναι το πλέον αποδοτικό καύσιμο διότι για την παραγωγή μιας γιγαβατώρας απαιτούνται μόλις 0.129kg ουρανίου. Στον αντίποδα, το λιγότερο αποδοτικό καύσιμο είναι ο λιγνίτης χρειάζονται 425 τόνοι και πιο συγκεκριμένα τα κοιτάσματα του ελλαδικού χώρου καθώς η ποιότητα τους είναι πολύ χαμηλή χρειάζεται 1523 τόνοι για την παραγωγή μιας γιγαβατώρας. Ανάλογα για το πετρέλαιο είναι 207 τόνοι, ενώ χρειάζονται 224 τόνοι για το μαζούτ. Τέλος όπως μπορεί να δει κανείς το φυσικό αέριο είναι το πιο αποδοτικό από τα συμβατικά καύσιμα και πιο συγκεκριμένα χρειάζεται 114 τόνους για την παραγωγή μιας γιγαβατώρας.

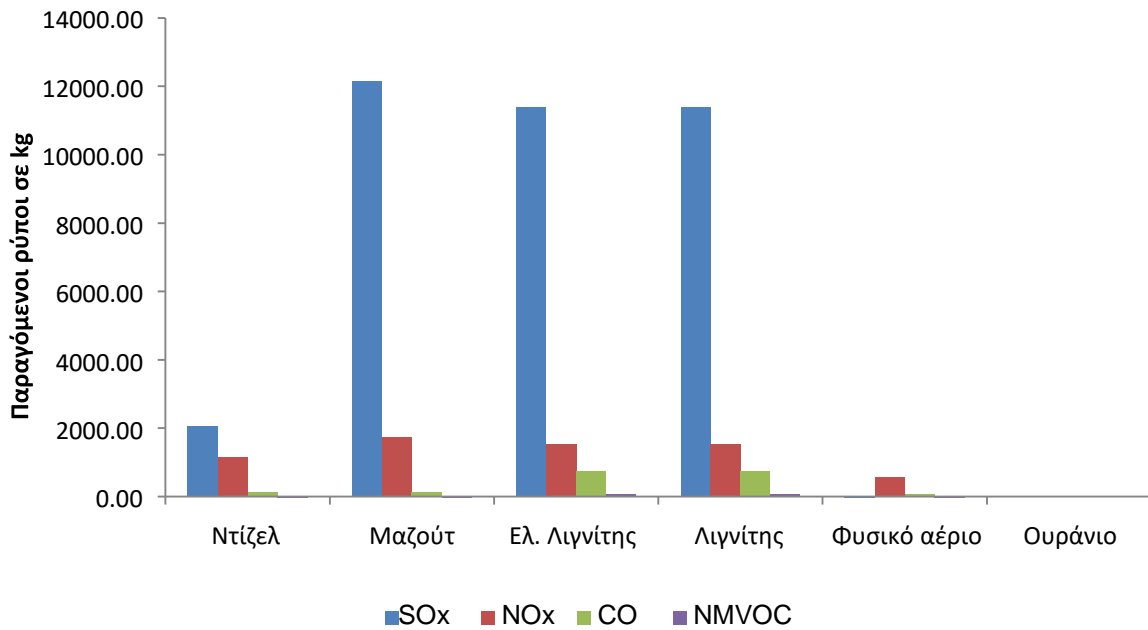


Σχήμα 5.9: Απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου για την παραγωγή μιας μονάδας ενέργειας (GWh).

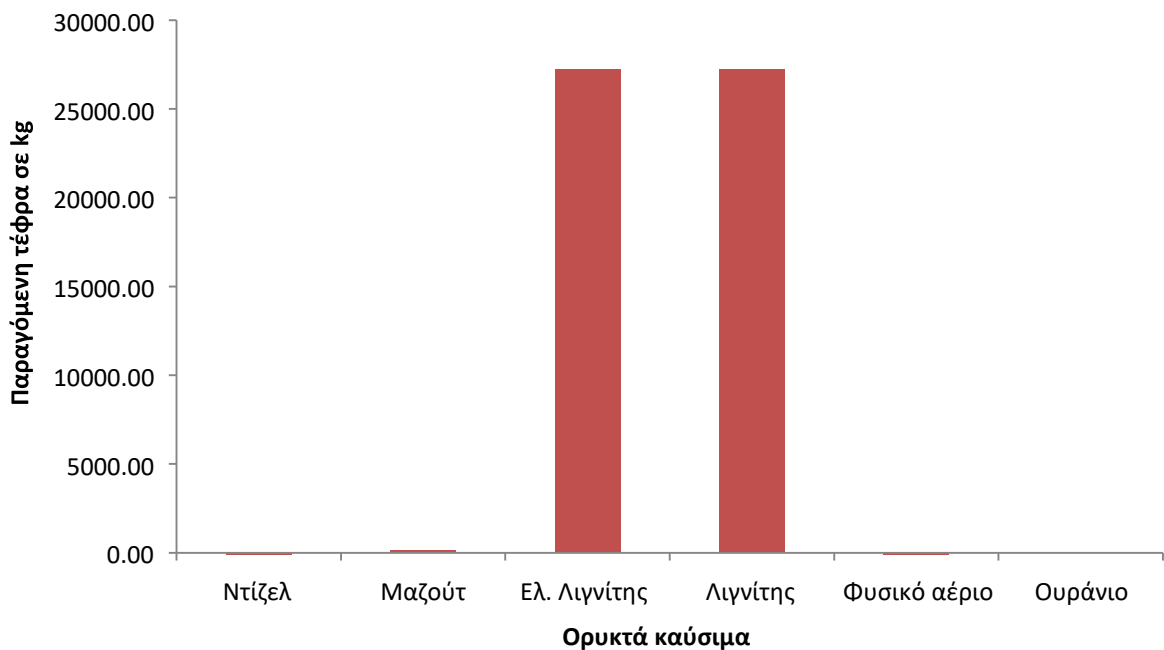
Στα σχήματα 5.10, 5.11 και 5.12 παρουσιάζονται οι ρύποι που εκπέμπονται από την παραγωγή μίας γιγαβατώρας.



Σχήμα 5.10: Εκπεμπόμενοι ρύποι του θερμοκηπίου ανά καύσιμο από την παραγωγή μιας GWh.



Σχήμα 5.11: Εκπεμπόμενοι ατμοσφαιρικοί ρύποι ανά καύσιμο από την παραγωγή μιας GWh.



Σχήμα 5.12: Εκπεμπόμενη ποσότητα τέφρας ανά καύσιμο από την παραγωγή μιας GWh.

Όπως παρατηρεί κανείς το ουράνιο δεν παράγει κανένος είδους ατμοσφαιρικό ρύπο κατά

την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το φυσικό αέριο αποτελεί το λιγότερο ρυπογόνο από το σύνολο των συμβατικών ορυκτών καυσίμων με 348 τόνους διοξειδίου του άνθρακα για την παραγωγή μιας γιγαβατώρας. Αρκετά λιγότερους από το λιγνίτη που παράγει 1045 τόνους και από το πετρέλαιο που παράγει περίπου 660 τόνους καθώς επίσης και από το μαζούτ με τους 690 τόνους.

Στους ατμοσφαιρικούς ρύπους, το φυσικό αέριο παραμένει το πιο φιλικό στο περιβάλλον καθώς κατά την παραγωγή μιας γιγαβατώρας εκπέμπονται 4,22kg οξειδίων του θείου, 583 kg οξειδίων του αζώτου, 90kg μονοξειδίου του άνθρακα και περίπου 10kg μη μεθανιούχων οργανικών πτητικών στερεών. Ο λιγνίτης και το πετρέλαιο σύμφωνα με το σχήμα 5.11 είναι πολύ περισσότερο ρυπογόνα καύσιμα. Πιο συγκεκριμένα κατά την παραγωγή μιας γιγαβατώρας με λιγνίτη παράγονται 11,4 τόνοι οξειδίων του θείου, 1,5 τόνοι οξειδίων του αζώτου, 0,75 τόνοι μονοξειδίου του άνθρακα και 65kg μη μεθανιούχων οργανικών πτητικών στερεών σωματιδίων. Για την παραγωγή μιας γιγαβατώρας από πετρέλαιο που βρίσκεται σε χαμηλότερα επίπεδα αλλά συγχρόνως και υψηλότερα από το φυσικό αέριο εκπέμπονται 2 τόνοι οξειδίων του θείου, 1,2 τόνοι οξειδίων του αζώτου, 0,14 τόνοι μονοξειδίου του άνθρακα και 29kg μη μεθανιούχων οργανικών πτητικών στερεών σωματιδίων, αν το πετρέλαιο είναι ντίζελ. Στην περίπτωση της παραγωγής μιας γιγαβατώρας με την χρήση του μαζούτ εκπέμπονται 12 τόνοι οξειδίων του θείου, 1,8 τόνοι οξειδίων του αζώτου, 0,14 τόνοι μονοξειδίου του άνθρακα και 33,3kg μη μεθανιούχων οργανικών πτητικών στερεών σωματιδίων.

Τέλος στο διάγραμμα της τέφρας παρατηρείται πως το ουράνιο παράγει μηδενική ποσότητα για την παραγωγή μιας γιγαβατώρας, το φυσικό αέριο μόλις 0,62kg ενώ αντίστοιχα το πετρέλαιο παράγει 17,19kg αν είναι ντίζελ και 144kg αν είναι μαζούτ. Ο λιγνίτης κρατάει και εδώ τα πρωτεία καθώς κατά την παραγωγή μιας γιγαβατώρας παράγει 17.243kg τέφρας.

Να αναφερθεί πως οι τιμές των ρύπων καθώς διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή είναι ενδεικτικές οπότε και λήφθηκαν υπόψη τυπικές τιμές για την αποδοτικότητα καθώς και για τη θερμογόνο δύναμη των καυσίμων.

Στους Πίνακες 5.1 και 5.2 παρατίθενται οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για τη θερμογόνο δύναμη καθώς επίσης και οι συντελεστές εκπομπών αερίων ρύπων.

Πίνακας 5.1: Τιμές θερμογόνου δύναμης καυσίμων σε MJ/kg [45].

| Θερμογόνος δύναμη [MJ/kg] | |
|------------------------------|----------|
| Ντίζελ | 43,33 |
| Μαζούτ | 40,19 |
| Ελ. Λιγνίτης | 5,50 |
| Λιγνίτης | 19,68 |
| Φυσικό αέριο | 54,40 |
| Ουράνιο | 80000000 |

Πίνακας 5.2: Συντελεστές εκπομπής αερίων ρύπων [46].

| | SOx[g/GJ] | NOx [g/GJ] | CO [g/GJ] | CO2[t/TJ] | NM VOC [g/GJ] | Τέφρα [g/GJ] |
|--------------|-----------|---------------|--------------|-----------|------------------|-----------------|
| Ντίζελ | 228 | 129 | 15,7 | 73,33 | 3,24 | 1,91 |
| Μαζούτ | 1350 | 195 | 15,7 | 76,59 | 3,7 | 16 |
| Ελ. Λιγνίτης | 1361 | 183 | 89,1 | 124,87 | 7,78 | 3254 |
| Λιγνίτης | 1361 | 183 | 89,1 | 124,87 | 7,78 | 3254 |
| Φυσικό αέριο | 0,68 | 93,9 | 14,5 | 56,1 | 1,58 | 0,1 |
| Ουράνιο | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Έπειτα από τη σύγκριση που έγινε το ουράνιο και η πυρηνική τεχνολογία καταλαμβάνει την πρώτη θέση στην λίστα αποδοτικότητας καθώς επίσης δεν παράγει καθόλου ατμοσφαιρικούς ρύπους. Από τα συμβατικά καύσιμα το φυσικό αέριο είναι το πιο αποδοτικό και το λιγότερο ρυπογόνο σε αντίθεση με τον λιγνίτη που είναι το λιγότερο αποδοτικό και το περισσότερο ρυπογόνο καύσιμο.

5.3 Υφιστάμενο θεσμικό πλαίσιο

Αν μελετήσει κανείς τα παραπάνω θα καταλάβει πως νούμερο ένα μέλημα όλων είναι η κλιματική αλλαγή που παρατηρείται λόγω της εκπομπής των αερίων ρύπων στην

ατμόσφαιρα. Για τον περιορισμό δημιουργήθηκαν διεθνείς οργανισμοί αλλά και η ευρωπαϊκή ένωση έχουν λάβει μια σειρά μέτρων τα οποία αναλύονται παρακάτω.

5.3.1 Διεθνείς Δράσεις για την Κλιματική Αλλαγή

Η Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) σε συνδυασμό με το Πρωτόκολλο του Κιότο παρέχουν το παγκόσμιο θεσμικό πλαίσιο για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής καθώς και τις βασικές αρχές για την επίτευξή τους.

Πιο συγκεκριμένα, η Σύμβαση Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών (UNFCCC) θέτει έναν βασικό άξονα σε ότι αφορά τις ευθύνες των κρατών για την ατμοσφαιρική ρύπανση. Όλες οι χώρες σύμφωνα με τη Σύμβαση Πλαίσιο, έχουν κοινές ευθύνες για τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου οι οποίες διαφοροποιούνται ανάλογα τις χώρες. Στην ουσία, αναγνωρίζεται πως οι ανεπτυγμένες βιομηχανικές χώρες ευθύνονται για το μεγαλύτερο κομμάτι των αερίων του θερμοκηπίου που συγκεντρώνονται στην ατμόσφαιρα. Να επισημανθεί όμως πως είναι και αυτές που διαθέτουν περισσότερους οικονομικούς και τεχνολογικούς πόρους για να μειώσουν τις εκπομπές τους. Ο μακροπρόθεσμος στόχος των κρατών αυτών σύμφωνα με την σύμβαση πλαίσιο είναι η σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα σε επίπεδα εφικτά ώστε να αποτρέψουν την επικίνδυνη ανθρωπογενή παρεμβολή στο παγκόσμιο κλιματικό σύστημα.

Στην πόλη Κιότο της Ιαπωνίας ,στις 11 Δεκεμβρίου 1997, υπογράφηκε το Πρωτόκολλο του Κιότο ενώ τέθηκε σε ισχύ το Φεβρουάριο του 2005. Αποτελεί την δέσμευση των αναπτυγμένων χωρών πιο συγκεκριμένα το έχουν επικυρώσει 184 κράτη και η Ευρωπαϊκή Ένωση για την μείωση των εκπομπών αερίων. Το Πρωτόκολλο του Κιότο πραγματεύεται έξι συνολικά αέρια το υποξείδιο του αζώτου (N_2O), τους υδροφθοράνθρακες (HFCs), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), τους υπερφθοράνθρακες (PFCs) καθώς επίσης και το εξαφθοριούχο θείο (SF_6).

Το Πρωτόκολλο του Κιότο περιλαμβάνει τρεις ευέλικτους μηχανισμούς, έτσι ώστε η μείωση των εκπομπών ρύπων να γίνει με τον πιο αποδοτικό οικονομικά τρόπο. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι:

- η Εμπορία Δικαιωμάτων Εκπομπών (Emissions Trading - ET) στην ουσία αυτός ο μηχανισμός προβλέπει τη δυνατότητα αγοραπωλησίας δικαιωμάτων εκπομπών μεταξύ των

ενδιαφερόμενων μερών, επιτρέποντας στις χώρες που συμπεριλαμβάνονται στο Παράρτημα Ι του Πρωτοκόλλου να εμπορεύονται μέρος των εκπομπών και να ανακατανέμουν πρακτικά τις επιτρεπόμενες εκπομπές μεταξύ τους. Αποτελεί εργαλείο για την ενισχύσει την αποδοτικότητα της αγοράς αναφορικά με τη μείωση των εκπομπών του αερίου του θερμοκηπίου, και οφείλει σύμφωνα με το Πρωτόκολλο να είναι συμπληρωματική προς τις εγχώριες δράσεις με στόχο τη μείωση των εκπομπών.

- τα Προγράμματα από Κοινού (Joint Implementation - JI) αφορά τη δυνατότητα των χωρών να εξασφαλίσουν δικαιώματα εκπομπών εφαρμόζοντας κάποιο πρόγραμμα το οποίο να μειώνει τις εκπομπές σε μία άλλη χώρα που ανήκει στο ίδιο παράρτημα. Ο μηχανισμός αυτός είναι πολύπλοκος για αυτό και προτιμάται ο τρίτος μηχανισμός.
- ο Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης (Clean Development Mechanism - CDM) πρόκειται για χώρες που μπορούν να πραγματοποιήσουν έργα μείωσης εκπομπών σε χώρες εκτός του παραρτήματος και να επωφεληθούν οι ίδιες από τις μειώσεις εκπομπών που προκύπτουν. Σκοπός αυτού του μηχανισμού είναι να υποστηρίξει τα μέλη που δεν περιλαμβάνονται στο παράρτημα Ι ώστε να επιτύχουν αειφόρο και βιώσιμη ανάπτυξη συμβάλλοντας ταυτόχρονα στο στόχο του Κιότο, ενώ παράλληλα βοηθά και τα μέλη του παραρτήματος Ι να συμμορφωθούν με τα όρια εκπομπών τους.

5.3.2 Ευρωπαϊκές Δράσεις για την Αλλαγή του Κλίματος

Η Ευρωπαϊκή Ένωση τον Ιούνιο του 2000 έθεσε σε εφαρμογή το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα για την Αλλαγή του Κλίματος (European Climate Change Program - ECCP). Σύμφωνα με το Πρωτόκολλο, όλες οι χώρες θα πρέπει να προσπαθήσουν να περιορίσουν την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη στους δύο βαθμούς Κελσίου και δεύτερον να μειώσουν τις βλαβερές για το περιβάλλον εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 30% έως το 2030. Για να επιτευχθεί αυτό το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα για την Αλλαγή του Κλίματος δημιούργησε μια σειρά από μέτρα που επηρεάζουν την εκπομπή αερίων ρύπων. Τα μέτρα αυτά αφορούν κυρίως τα εξής:

- Βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας της Ευρωπαϊκής Ένωσης κατά 20% μέχρι το 2030
- Πρόγραμμα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την 1^η Ιανουαρίου 2005

- Αύξηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κατά 20% μέχρι το 2030
- Ενίσχυση του Συστήματος Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών για τις βιομηχανίες
- Μείωση των ρύπων που προέρχονται από τον τμήμα των μεταφορών και κυρίως από τα ιδιωτικά Ι.Χ. και τις αεροπορικές εταιρείες
- Περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που προέρχονται από την καθημερινή χρήση ενέργειας που κάνουν τα νοικοκυριά, τα εμπορικά κτίρια κτλ.
- Σημαντική αύξηση του ευρωπαϊκού προϋπολογισμού για δράσεις που θα αφορούν το περιβάλλον, την ενέργεια και την έρευνα κυρίως στον τομέα των μεταφορών.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δεσμευτεί για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 20% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 έως το 2020 καθώς και για περαιτέρω μείωση έως το 30%, εφόσον οι υπόλοιπες βιομηχανοποιημένες χώρες συμφωνήσουν να πράξουν το ίδιο με την παράλληλη δραστηριοποίηση και των αναπτυσσόμενων χωρών. Η μείωση κατά 20% τουλάχιστον, προϋποθέτει εκτός από τα ήδη υφιστάμενα μέτρα, όπως το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων, θα πρέπει να θεσπιστούν νέα μέτρα, που θα αποσκοπούν ειδικά στην ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης, την αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τον εξοπλισμό των νέων εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τεχνολογία δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα [47].

Το Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (EU ETS), το οποίο ξεκίνησε το έργο του τον Ιανουάριο του 2005, αποτελεί το μεγαλύτερο και σημαντικότερο σχέδιο ανώτατου ορίου και εμπορίου στον κόσμο και είναι ένας από τους ακρογωνιαίους λίθους στον αγώνα κατά της μεταβολής του κλίματος. Είναι το κύριο όργανο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη συμμόρφωση με το Πρωτόκολλο του Κιότο και καλύπτει πάνω από 11.500 ενεργοβόρες εγκαταστάσεις στην Ε.Ε., στις οποίες αντιστοιχεί σχεδόν το 50% των εκπομπών CO₂ στην Ευρώπη.

Το Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών αποτελεί ένα σύστημα εμπορίας αδειών για την εκπομπή CO₂ και των υπόλοιπων αερίων του θερμοκηπίου. Στηρίζεται στην τιμολόγηση κάθε εκπεμπόμενου τόνου άνθρακα, με σκοπό την ώθηση για επενδύσεις σε τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Βασικός του άξονας είναι η πεποίθηση πως η τιμολόγηση των εκπομπών αποτελεί τον πιο αποτελεσματικό τρόπο για την επίτευξη μεγάλων μειώσεων στις παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, ώστε

να αποτραπούν οι κλιματικές αλλαγές. Η κοινοτική οδηγία 2003/87/ΕΚ έθεσε τους βασικούς άξονες λειτουργίας του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, κάθε άδεια εκπομπών δίνει δικαίωμα εκπομπής ενός τόνου CO₂. Τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν υποχρέωση να καταρτίζουν τα Εθνικά Σχέδια Κατανομής (ΕΣΚ), που καθορίζουν τη συνολική ποσότητα εκπομπών CO₂ και τον τρόπο κατανομής στις επιχειρήσεις. Αυτό σημαίνει ότι κάθε κράτος μέλος έχει την δυνατότητα να αποφασίσει εκ των προτέρων πόσα δικαιώματα θα κατανείμει συνολικά για μια περίοδο εμπορίας και πόσα δικαιώματα θα λάβει κάθε εργοστασιακή μονάδα καλυπτόμενη από το σύστημα εμπορίας εκπομπών. Είναι εύκολα αντιληπτό πως οι επιχειρήσεις που διατηρούν τις εκπομπές τους σε επίπεδο χαμηλότερο από τις άδειες που κατέχουν, έχουν την δυνατότητα να πωλήσουν το πλεόνασμα των αδειών σε τιμή που καθορίζεται στις αγορές άνθρακα. Στον αντίποδα, οι επιχειρήσεις που δεν μπορούν να περιοριστούν στα επίπεδα των αδειών τους, μπορούν είτε να αγοράσουν επιπλέον άδειες ή μονάδες ευέλικτων μηχανισμών είτε να επενδύσουν σε πιο αποτελεσματικές τεχνολογίες ή να χρησιμοποιήσουν λιγότερο ρυπογόνες για το περιβάλλον πηγές ενέργειας.

5.3.3 Ελληνική Πραγματικότητα αναφορικά με τις Δράσεις για την Κλιματική Αλλαγή

Η Ελλάδα αν και η κατάσταση εμφανίστηκε κάπως διαφορετική ύστερα υπέγραψε το Πρωτόκολλο τον Απρίλιο του 1998, παράλληλα με τα υπόλοιπα Κράτη Μέλη της Ε.Ε. και την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Όλα τα Κράτη Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης κύρωσαν το Πρωτόκολλο το Μάιο 2002. Η Ευρωπαϊκή Ένωση και τα κράτη μέλη της είναι υποχρεωμένα σύμφωνα με το Πρωτόκολλο στην υποχρεωτική μείωση κατά 8% κατά τη περίοδο 2008-2012 σε σύγκριση με επίσημες τιμές που εμφανίζονται το 1990. Βάσει του άρθρου 4 του Πρωτοκόλλου που επιτρέπει την από κοινού ανταπόκριση στις υποχρεώσεις που αναλαμβάνονται από το Πρωτόκολλο, στο Συμβούλιο Υπουργών Περιβάλλοντος της Ε.Ε. της 4ης Μαρτίου 2002, επετεύχθη συμφωνία σε απόφαση του Συμβουλίου για την "έγκριση εξ ονόματος της Ευρωπαϊκής Κοινότητας του Πρωτοκόλλου του Κιότο της Σύμβασης Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος και την από κοινού ανταπόκριση στις αντιστοίχως αναλαμβανόμενες υποχρεώσεις". Η απόφαση αυτή κοινοποιήθηκε στη Γραμματεία της Σύμβασης στη Βόννη, την ίδια μέρα που έγινε η κατάθεση των πράξεων κύρωσης του Πρωτοκόλλου στο θεματοφύλακα (Νέα Υόρκη).

Σύμφωνα με την προαναφερθείσα απόφαση η Ελλάδα είναι υποχρεωμένη να εναρμονιστή

με αυτήν περιορίζοντας την αύξηση των εκπομπών της στο +25% για το διάστημα 2008-2012, με σκοπό να συμβάλει τα μέγιστα στο κοινό στόχο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για 8% μείωση των εκπομπών της για το αυτό διάστημα. Εν κατακλείδι για να τηρηθεί η δέσμευση αυτή η Ελλάδα εκτόνησε το Εθνικό Πρόγραμμα μείωσης εκπομπών αερίων φαινόμενου θερμοκηπίου για την περίοδο 2000-2010.

Τα κύρια σημεία του Πρωτοκόλλου συνοψίζονται ως εξής:

- Η δέσμευση της μείωσης, των συνολικών εκπομπών ρύπων στοχεύοντας σε έξι αέρια, των ανεπτυγμένων κρατών κατά 5% να μειώσουν τις συνολικές τους εκπομπές κατά τουλάχιστον 5%.
- Η επίτευξη των στόχων κάθε κράτους πρέπει να πραγματοποιηθεί την περίοδο 2008-2012.
- Δυνατότητα εκπλήρωσης των υποχρεώσεων από κοινού. Τα Κράτη δύνανται να δηλώσουν κοινή εκπλήρωση των υποχρεώσεών τους, μέσω μιας συμφωνίας που θα συνάψουν, όπου θα καταγράφεται η υποχρέωση κάθε κράτους ως προς το επίπεδο των εκπομπών και η οποία πρέπει να κατατεθεί μαζί με το κείμενο επικύρωσης.
- Δυνατότητα εκπλήρωσης μέρους των υποχρεώσεων μέσω τριών ευέλικτων μηχανισμών. Το Πρωτόκολλο του Κιότο παρέχει τη δυνατότητα να επιτυγχάνεται η εκπλήρωση μέρους των υποχρεώσεων μέσω τριών μηχανισμών: από κοινού εφαρμογή, μηχανισμός "καθαρής" ανάπτυξης και εμπόριο εκπομπών. Η γενική προϋπόθεση είναι η εκπλήρωση των υποχρεώσεων μέσω των μηχανισμών αυτών να είναι συμπληρωματική των εθνικών δράσεων για την επίτευξη του στόχου.
- Υιοθέτηση πολιτικών και μέτρων. Το Πρωτόκολλο δεσμεύει τα Κράτη-Μέρη του σε εφαρμογή ή υιοθέτηση πολιτικών και μέτρων για την επίτευξη του στόχου του Πρωτοκόλλου, σύμφωνα με τις εθνικές συνθήκες κάθε κράτους. Περιλαμβάνει και ενδεικτικό κατάλογο συγκεκριμένων μέτρων που μπορούν να εφαρμοσθούν από τα Κράτη-Μέρη.
- Συνεκτίμηση αποδεκτών (καταβόθρες). Το Πρωτόκολλο περιλαμβάνει διατάξεις για την συνεκτίμηση των αποδεκτών (καταβόθρες), οι οποίες αν και χρειάζονται περαιτέρω μελέτη και διευκρινήσεις, παρέχουν κατ' αρχήν τη δυνατότητα συνυπολογισμού της πρόσληψης διοξειδίου του άνθρακα από τα δάση και τις καλλιεργούμενες γαίες στη μείωση των εκπομπών.
- Αυστηρό καθεστώς συμμόρφωσης. Το Πρωτόκολλο προβλέπει την εγκαθίδρυση ενός αυστηρού καθεστώτος συμμόρφωσης

- Δεν υπάρχουν ποσοτικοί στόχοι για αναπτυσσόμενες χώρες

Καθώς η Ελλάδα αποτελεί μια χώρα που το μεγαλύτερο ποσοστό καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καταλαμβάνει ο ρυπαρόνος λιγνίτης οπότε είναι ευκολά αντιληπτό πλέον ότι ο λιγνίτης είναι πρώτος με μεγάλη διαφορά στις εκπομπές επηρεάζοντας σε μεγάλο βαθμό την κλιματική αλλαγή. Ο κύριος παραγωγός ενέργειας και χρήστης του λιγνίτη στην Ελλάδα είναι η Δ.Ε.Η. η οποία και δεσμεύτηκε μια σειρά από μέτρα για την επίτευξη των στόχων σύμφωνα με την επιβολή του Πρωτόκολλο και της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αυτά είναι:

- Επενδύσεις για την αντικατάσταση παλαιών μονάδων παραγωγής, με νέες σύγχρονες υψηλού βαθμού απόδοσης
- Μέγιστη εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Μέγιστη αξιοποίηση της υδροδυναμικής ενέργειας της χώρας μας
- Υλοποίηση Περιβαλλοντικών Προγραμμάτων για βελτίωση της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς των υφιστάμενων Θερμοηλεκτρικών Μονάδων με:
 - Παρακολούθηση και αναφορά των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα
 - Αναβάθμιση και εκσυγχρονισμό των υφιστάμενων εγκαταστάσεων και λειτουργία με βάση τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές
 - Εφαρμογή αποδοτικών τεχνολογιών καύσης λιγνίτη και συμμετοχή σε καινοτόμα ερευνητικά προγράμματα για τη δέσμευση και αποθήκευση του διοξειδίου του άνθρακα
- Προώθηση περαιτέρω δράσεων εξοικονόμησης και ορθολογικής χρήσης ενέργειας, τόσο στην Παραγωγή, όσο και στη Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (τηλεθέρμανση πόλεων, βελτίωση βαθμού απόδοσης Θερμοηλεκτρικών Μονάδων, κ.α.)
- Συνέχιση της συμμετοχής της στο Πρόγραμμα Energy Wisdom, ένα πρόγραμμα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [48],[49].

Κεφάλαιο 6 Τεχνοοικονομική μελέτη

6.1 Τεχνοοικονομικά Στοιχεία Πυρηνικών Σταθμών

Σ αντίθεση με μια συμβατική μονάδα παραγωγής ενέργειας ένας πυρηνικός σταθμός απαιτεί πολύπλοκες και χρονοβόρες διαδικασίες σε ότι αφορά τον σχεδιασμό την χωροθέτηση και την κατασκευή. Το σύνολο αυτών των διαδικασιών χρονικά διακρίνεται στα εξής τρία στάδια:

1. Κατασκευή Πυρηνικού Σταθμού
2. Λειτουργία
3. Παροπλισμός (Decommissioning)

6.2 Χωροθέτηση Πυρηνικού Σταθμού

Αρχικά πρέπει να προσδιοριστεί ο κατάλληλος τόπος εγκατάστασης του σταθμού. Για την επιλογή αυτής της θέσης λαμβάνονται υπόψη πολλά κριτήρια όπως:

- i. τύπος και η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία του σταθμού
- ii. Τα δημογραφικά χαρακτηριστικά και οι βασικές δραστηριότητες του πληθυσμού της γύρω περιοχής.

Σημαντικοί παράγοντες που επίσης λαμβάνονται υπόψη είναι :

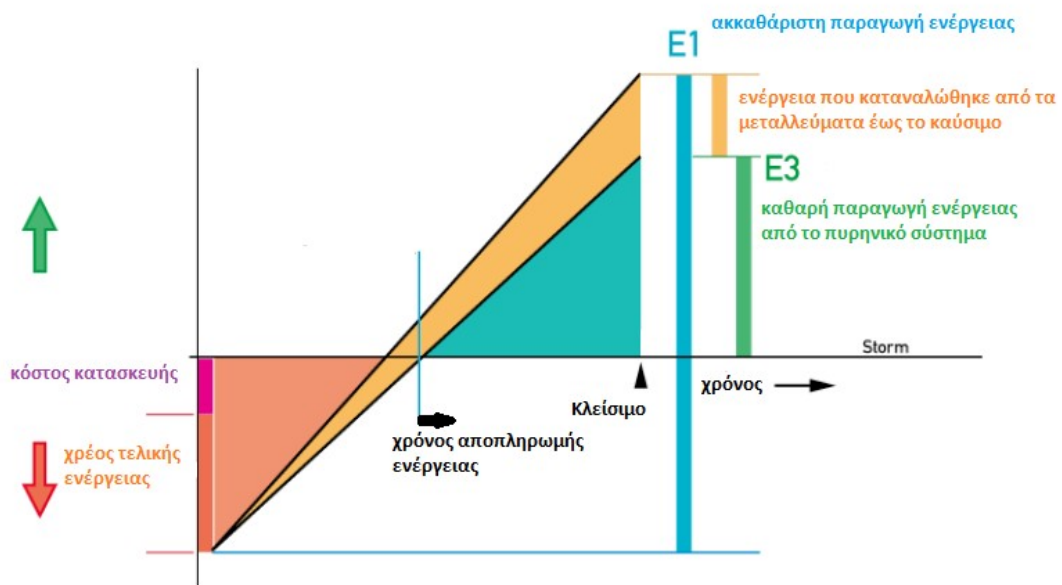
- **Ζώνη Αποκλεισμού:** Ορίζεται συγκεκριμένη περιοχή που περιβάλλει το σταθμό. Αυτή η ζώνη ανήκει στον σταθμό και η διοίκηση του ρυθμίζει τον τρόπο αξιοποίησης της.
- **Ζώνη Χαμηλού Πληθυσμού:** Η ζώνη χαμηλού πληθυσμού ορίζεται η περιοχή γύρω από την ζώνη αποκλεισμού. Ο πληθυσμός που επιτρέπεται να εγκατασταθεί στην δεδομένη έκταση περιορίζεται από αυστηρούς κανόνες ασφαλείας.
- **Απόσταση από το κέντρο πληθυσμού:** Είναι η απόσταση που χωρίζει τον σταθμό από την πλησιέστερη πυκνοκατοικημένη ζώνη

Για παράδειγμα, ένας πυρηνικός σταθμός 1GW απαιτεί κατά προσέγγιση έκταση έως και 4000 στρέμματα.

- iii. Το κλίμα και τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, π.χ. σεισμικότητα, μορφολογία του εδάφους, πλημμύρες. Σημαντικός παράγοντας επίσης είναι και η ευκολία πρόσβασης σε νερό για την διαδικασία της ψύξης.

6.3 Κατασκευή Πυρηνικού Σταθμού

Προσεγγιστικά και σε συνάρτηση με την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία, ένας πυρηνικός σταθμός χρειάζεται 5 με 12 χρόνια για την κατασκευή του, λόγω διάφορων παραγόντων σχετικών με διάφορα θεσμικά, κοινωνικά και οικονομικά θέματα. Η πλέον χρονοβόρα διαδικασία είναι η αδειοδότηση τους σταθμού, η οποία λόγω των ιδιαίτερα αυστηρών κανονισμών ενδέχεται να διαρκέσει μέχρι και 10 έτη. Ένα ενδεικτικό χρονοδιάγραμμα για έναν πυρηνικό σταθμό παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.1.



Σχήμα 6.1: Χρονοδιάγραμμα Πυρηνικού Σταθμού [51]

Ένα πυρηνικό εργοστάσιο τυπικά αποτελείται από τις εξής εγκαταστάσεις (Σχήμα 6.2):

- **Πύργος Ψύξης:** Αποτελεί το μεγαλύτερο τμήμα του πυρηνικού εργοστασίου. Όπως δηλώνει και το όνομα τους εδώ καταλήγει να ψυχθεί το νερό του κυκλώματος ψύξης. Ως εκ τούτου, το αέριο που αποβάλλεται ως το μοναδικό απόβλητο του πύργου

ψύξης είναι καθαρός ατμός και όπως είναι φυσικό δεν είναι ούτε ρυπογόνος ούτε βλαβερός.

- **Κτίριο Συγκράτησης:** Περικλείει τον αντιδραστήρα καθώς επίσης και το σύστημα ψύξης, οπότε, γίνεται εύκολα αντιληπτό πως τα επίπεδα ραδιενέργειας σε αυτό είναι υψηλά. Έχει χαρακτηριστικό σχήμα λόγω του ημισφαιρικού του θόλου. Η μορφή αυτή έχει επιλεγεί ώστε να εξασφαλίζεται η σταθερή πίεση. Η κατασκευή είναι χαλύβδινη και σε πολλές περιπτώσεις περικλείεται σε κέλυφος σκυροδέματος. Επίσης σημαντική ιδιότητα του κτηρίου αυτού είναι πως αποτελεί το 3^ο φράγμα της άμυνας σε βάθος [52].
- **Βοηθητικό Κτίριο ή Κτίριο Αντιδραστήρα:** Εδώ φυλάσσεται ο εξοπλισμός εκτάκτου ανάγκης καθώς και τμήμα του εξοπλισμού υποστήριξης, Είναι ανεξάρτητο από το κτήριο συγκράτησης ωστόσο ενδέχεται να περιέχει ραδιενεργά υλικά.
- **Κτίριο Στροβίλου:** Είναι το κτίριο που όπως φαίνεται και από το όνομα του περιλαμβάνει τον στρόβιλο, τη γεννήτρια, το συμπυκνωτή και το τροφοδοτικό σύστημα νερού.
- **Κτίριο Εισροής:** Περιλαμβάνει τα μηχανικά μέρη και εξαρτήματα που συμμετέχουν στην άντληση τον καθαρισμό και την κυκλοφορία του νερού από το σημείο παροχής ύδατος μέχρι τον συμπυκνωτή τον οποίο και ψύχει.
- **Κτίριο Καυσίμου:** κτίριο αποθήκευσης των χρησιμοποιημένων ράβδων καυσίμου σε ειδικές δεξαμενές νερού και σπανιότερα των νέων ράβδων πριν την μετακίνηση τους στο κτίριο συγκράτησης.
- **Κτίριο Γεννήτριας Diesel:** Εδώ στεγάζονται οι εφεδρικές γεννήτριες οι οποίες αποτελούν βασικό παράγοντα για την αποφυγή ατυχήματος σε περίπτωση διακοπής ρεύματος και ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός των διαφόρων συστημάτων της εγκατάστασης.
- **Λοιπά Κτίρια:** Σε ένα πυρηνικό εργοστάσιο υπάρχουν διάφορα βοηθητικά κτίρια τα οποία συμβάλλουν στην ομαλή λειτουργία του μερικά από τα οποία είναι το κτίριο διοίκησης, ελέγχου, ασφάλειας, καθώς και τα συστήματα επεξεργασίας και καθαρισμού του νερού.



Σχήμα 6.2: Απλοποιημένη ενδεικτική διάταξη πυρηνικού σταθμού [53]

6.4 Εκτίμηση οικονομικών παραμέτρων και αποδοτικότητας πυρηνικού σταθμού

6.4.1 Χρηματικές εισροές του πυρηνικού σταθμού από την εμπορευόμενη ηλεκτρική ενέργεια

Η οικονομική μελέτη που ακολουθεί βασίστηκε στην ξένη και ελληνική βιβλιογραφία. Παρακάτω παρουσιάζονται οι σχέσεις που θα χρησιμοποιηθούν για την οικονομική μελέτη:

- I. η μέση ωριαία παραγωγή ενέργειας,
- II. η ετήσια παραγόμενη ενέργεια,
- III. τα ετήσια έσοδα από την πώληση της ενέργειας,
- IV. τα συνολικά έσοδα από όλη τη λειτουργία του σταθμού καθώς και το
- V. καθαρό κέρδος της επιχείρησης θα είναι αντίστοιχα

$$P_{mean} = CF \times P_{installed} \quad (6.1)$$

$$P_{ετήσια} = P_{mean} \times 8760 \quad (6.2)$$

$$ΕΣΟΔΑ_n = E_{ετήσια} \times p_n \quad (6.3)$$

$$ΕΣΟΔΑ_{40} = \sum_{n=1}^{40} ΕΣΟΔΑ_n \quad (6.4)$$

$$ΚΕΡΔΟΣ = ΕΣΟΔΑ_{40} - ΚΟΣΤΟΣ \quad (6.5)$$

Όπου

- $P_{installed}$ αντιπροσωπεύει την εγκατεστημένη ισχύ, στην προκειμένη περίπτωση 1000MW,
- CF ο συντελεστής χρησιμοποίησης του σταθμού,
- p_n η τιμή πώλησης της παραγόμενης ενέργειας και
- 8760 οι εργατοώρες [365 (μέρες)×24(ώρες)] ετησίως.

Τα αποτελέσματα μελέτης από ερευνητικό πανεπιστήμιο της Μασαχουσέτης δείχνουν ότι η τιμή της μονάδας της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Αυτό έχει σαν συνέπεια να είναι διαφορετική από χώρα σε χώρα και από περιοχή σε περιοχή, ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες και από την ύπαρξη χρηματοδότησης ή όχι. Η τιμή της μονάδας της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας επίσης εξαρτάται και από γεωγραφικούς παράγοντες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην είναι εφικτός ο καθορισμός της τιμής πώλησης της παραγωγής. Έτσι, με βάση την ξένη βιβλιογραφία, το αρχικό κόστος του σταθμού ορίστηκε στα 8,4 c\$/KWh σύμφωνα με τις συνθήκες της αμερικάνικης αγοράς [54]. Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν επαρκεί στοιχεία για την εκτίμηση του αρχικού κόστους για τον Ελλαδικό χώρο, στην παρούσα μελέτη για τους οικονομικούς υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε η παραπάνω τιμή, αναγνωρίζοντας ότι μπορεί να συνοδεύεται από αρκετή αβεβαιότητα.

Εντούτοις, μέσα από την χρήση της επαναληπτικής διαδικασίας λαμβάνοντας και τον πληθωρισμό της παρούσας εποχής, μπορεί να γίνει ο προσδιορισμός της τιμής για την πώληση την ηλεκτρικής ενέργειας. Στην Ελλάδα, ο πληθωρισμός για τον μήνα Απρίλιο του 2017, ανήλθε στο ποσοστό 1,77%.

Οπότε ισχύει η σχέση:

$$p_n = p_0 + (1 + i)^n \quad (6.6)$$

Όπου $p_0=8,4$ c/KWh, και σύμφωνα με την ισοτιμία ευρώ/δολαρίου Αμερικής του μήνα Απρίλιος του 2017 η οποία ανέρχεται στο 1,1426 έχουμε:

$$p_0 = \frac{8,5c}{KWh} = \frac{0,085}{1,1426} \frac{\text{€}}{KWh} = \frac{0,074\text{€}}{KWh} \text{ (Δηλαδή 7,4 λεπτά του ευρώ)}$$

Όπου

- n τα έτη λειτουργίας του σταθμού και
- p_n η τιμή πώλησης της παραγόμενης ενέργειας κατά το n -οστό έτος .

Στην παρούσα ανάλυση γίνεται η παραδοχή ότι οι πυρηνικοί αντιδραστήρες θα λειτουργούν για 40 χρόνια, που αντιστοιχεί στο μέσο χρόνο ζωής τέτοιων μονάδων.

Το ερευνητικό ινστιτούτο του Καναδά πραγματοποίησε μια μελέτη με θέμα «Σύγκριση του κόστους της μονάδας ηλεκτρικής ενέργειας των εναλλακτικών τεχνολογιών για την παραγωγή ενέργειας με φορτίο βάσης στο Οντάριο» [55], από όπου και πάρθηκε ο συντελεστής χρησιμοποίησης ενός πυρηνικού σταθμού η οποία ανέρχεται στην τιμή CF=90% .

Από τις εξισώσεις 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 και 6.5 έχουμε διαδοχικά:

$$P_{mean} = 0,90 \times 1000 = 900MW$$

$$P_{ετήσια} = 900 \times 8760 = 7.884 GWh$$

Παρακάτω στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται οι τιμές πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για τα 40 χρόνια λειτουργίας καθώς και τα συνολικά έσοδα αυτής.

Πίνακας 6.1 . Τιμή πώλησης και έσοδα πυρηνικής εγκατάστασης

| Έτος Λειτουργίας | Τιμή Ηλεκτρικής Ενέργειας (c€/KWh) | Έσοδα (€) |
|------------------|------------------------------------|-------------|
| 1 | 7,508 | 591.930.720 |
| 2 | 7,619 | 600.681.960 |
| 3 | 7,731 | 609.512.040 |
| 5 | 7,960 | 627.566.400 |
| 10 | 8,562 | 675.028.080 |

| | | |
|----|--------|---------------|
| 20 | 9,907 | 781.067.880 |
| 40 | 13,265 | 1.045.812.600 |

Οι παραπάνω τιμές του Πίνακα 6.1 υπολογίστηκαν βάσει της επαναληπτικής σχέσης 6.6 που δόθηκε προηγουμένως

$$p_n = p_0 + (1 + i)^n$$

Τα έσοδα κάθε έτους υπολογίζονται από τη σχέση 6.3 οπότε,

$$ΕΣΟΔΑ_n = E_{ετήσια} \times p_n$$

Επίσης ο υπολογισμός των συνολικών εσόδων για όλα τα έτη λειτουργίας πραγματοποιείται με χρήση της ακόλουθης σχέσης:

$$\begin{aligned} ΕΣΟΔΑ_{40} &= \sum_{n=1}^{40} ΕΣΟΔΑ_n = \sum_{n=1}^{40} E_{ετήσια} \times p_n = \sum_{n=1}^{40} E_{ετήσια} \times p_0 + (1 + i)^n \\ &= E_{ετήσια} \times p_0 \times \sum_{n=1}^{40} (1 + i)^n \end{aligned}$$

Η παραπάνω γεωμετρική πρόοδος εμπεριέχει πρώτο όρο το $\alpha_1=1+0,0177=1,0177$ και λόγο τον ίδιο αριθμό $\lambda=1,0177$. Το άθροισμα για οποιαδήποτε γεωμετρική πρόοδος δίνεται από την σχέση:

$$S_n = \frac{\lambda^n - 1}{\lambda - 1} \times \alpha_1$$

Επομένως σύμφωνα με όλα τα παραπάνω τα συνολικά έσοδα ανέρχονται:

$$\begin{aligned} ΕΣΟΔΑ_{40} &= E_{ετήσια} \times p_0 \times \sum_{n=1}^{40} (1 + i)^n = 7.884GWh \times 7,4 \frac{c\text{€}}{KWh} \times \frac{1,0177^{40} - 1}{1,0177 - 1} \times 1,0177 \\ &= 583.416.000 \times 58,49 = 34.124.001.840\text{€} \end{aligned}$$

6.4.2 Συνολικές ετήσιες δαπάνες του πυρηνικού σταθμού

Οι συνολικές ετήσιες δαπάνες είναι συνιστώσα των παρακάτω και απαρτίζονται από τα εξής:

- Το κόστος κεφαλαίου: το οποίο αποτελείται από την προμήθεια των μηχανικών τμημάτων, και ένα κόστος του ιδιοκτήτη το οποίο είναι το κόστος έκτασης, υποδομών ψύξης, χώροι εργοτάξιού, άδειες, κ.λπ., καθώς επίσης και την κλιμάκωση του κόστους και τον πληθωρισμό. Στον κλάδο της πυρηνικής κατασκευής χρησιμοποιείται συχνά το “κόστος κεφαλαίου εν μία νυκτί” το οποίο και αποτελεί κόστος κατασκευής συν το κόστος ιδιοκτήτη όχι όμως του πληθωρισμού, της χρηματοδότησης και την διακύμανση των τιμών των υλικών καθώς και του εργατικού κόστους.
- Το κόστος χρηματοδότησης αποτελεί το δείκτη χρέους - ιδίων κεφαλαίων το οποίο έχει άμεσο αντίκτυπο από το επιτόκιο του χρέους και το πώς ανακτάται το κόστος κεφαλαίου. Το κόστος κεφαλαίου και το κόστος χρηματοδότησης αποτελούν και το συνολικό κόστος.
- Τα λειτουργικά έξοδα είναι το συνολικό κόστος καυσίμου καθώς και λοιπών δαπανών λειτουργίας.
- Το μέσο κόστος πρόκειται για το μέσο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα είναι το σύνολο των κεφαλαίων, της χρηματοδότησης, των δαπανών του ιδιοκτήτη για τον χώρο, των καύσιμων και τη λειτουργία του σταθμού τα 40 έτη λειτουργίας του, καθώς και οι εκτιμήσεις για τον παροπλισμό και τη διάθεση των αποβλήτων.
- Το Εξωτερικό κόστος: Αποτελούν τις δαπάνες για την υγεία και το περιβάλλον και προσδιορίζονται ποσοτικά καθώς δεν περιλαμβάνονται στο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας. Εν κατακλείδι όσον αφορά το πυρηνικό εργοστάσιο οι εκπομπές αερίων, η διασπορά και η τελική επίδραση, καθώς επίσης και διάφορες εξωτερικές δαπάνες έχουν μέση τιμή 0,4 c€/KWh. Να αναφερθεί πως οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί έχουν παρόμοιο κόστος. Το εξωτερικό κόστος των ορυκτών καυσίμων είναι αρκετά υψηλό ενώ να τονιστεί πως της αιολικής ενέργειας ανέρχεται σε 0,1 - 0,2 c€/KWh [54].

Συγκεκριμένα για τον υπολογισμό του εξωτερικού κόστους έχουμε:

Η ετήσια παραγωγή ενέργειας $E_{ετήσια} = 7.884GWh$.

Άρα το συνολικό ετήσιο εξωτερικό κόστος θα είναι $7.884GWh \times 0,4 \frac{c\text{€}}{KWh} = 31.536.000\text{€}$.

Οπότε για τα 40 χρόνια λειτουργίας, το εξωτερικό κόστος ανέρχεται στο $31.536.000\text{€} \times 40 = 1.261.440.000\text{€}$.

- Το Κόστος καυσίμου: Το ουράνιο ένα τόσο σημαντικό καύσιμο πάνω στο οποίο έχει αναπτυχθεί ολόκληρη επιστήμη και είναι σχετικά φθινό. Οι περισσότεροι αντιδραστήρες χρησιμοποιούν εμπλουτισμένο ουράνιο μια διαδικασία η οποία αυξάνει και το κόστος καυσίμου. Επίσης στην οικονομική μελέτη που αναπτύσσεται πρέπει να παρθεί υπόψιν και η διαχείριση των αποβλήτων και των χρησιμοποιημένων ράβδων καυσίμου.

Συνήθως από το συνολικό κόστος παραγωγής σε KWh, το κόστος καυσίμου καταλαμβάνει το 17%. Το κόστος καυσίμου και αυτό με την σειρά του χωρίζεται σε επιμέρους κόστη και πιο συγκεκριμένα σε: φυσικό ουράνιο 51%, μετατροπή 3%, εμπλουτισμός 32%, και επεξεργασία καυσίμων 14%.

Από τη μελέτη του ερευνητικού ινστιτούτου στον Καναδά με θέμα «Σύγκριση του κόστους της μονάδας ηλεκτρικής ενέργειας των εναλλακτικών τεχνολογιών για την παραγωγή ενέργειας με φορτίο βάσης στο Οντάριο» [56], υπολογίστηκε το κόστος καυσίμου σε 1,8€/MWh, ενώ του χρησιμοποιημένου καυσίμου σε 1,14€/MWh για αντιδραστήρα Candu 6, δηλαδή σαν αυτόν που χρησιμοποιείται στην ανάλυση. .

Το κόστος καυσίμου υπολογίζεται ως εξής:

Η συνολική ετήσια παραγωγή ενέργειας είναι $E_{ετήσια} = 7.884GWh$.

Οπότε το ετήσιο κόστος καυσίμου θα ανέλθει στα $7.884GWh \times \frac{1,8\text{€}}{MWh} = 14.191.200\text{€}$.

Άρα για τα 40 χρόνια λειτουργίας το κόστος καυσίμου θα ανέρχεται στα $14.191.200\text{€} \times 40 = 567.648.000\text{€}$

Το κόστος του χρησιμοποιημένου καυσίμου υπολογίζεται ως εξής:

Η συνολική ετήσια παραγωγή ενέργειας είναι $E_{ετήσια} = 7.884GWh$.

Οπότε το ετήσιο κόστος χρησιμοποιημένου καυσίμου θα είναι $7.884GWh \times \frac{1,14\text{€}}{MWh} = 8.987.760\text{€}$.

Άρα για τα 40 χρόνια λειτουργίας το κόστος του χρησιμοποιημένου καυσίμου θα ανέρχεται στα $8.987.760\text{€} \times 40 = 359.510.400\text{€}$.

Όσο περισσότερο αυξάνονται τα επίπεδα εμπλουτισμού της καύσης τόσο μειώνεται το κόστος καυσίμου.

- Κόστος απεγκατάστασης: Πρόκειται για ένα πολύ σημαντικό τμήμα της οικονομικής ανάλυσης όπου εκτιμάται κοντά στο 9-15% του κόστους του αρχικού κεφαλαίου του σταθμού. Στις ΗΠΑ η τιμή αυτή ανέρχεται σε 0,1-0,2 c/kWh (ή 0,09-0,18 c€/kWh), ένα ποσό κοντά στο 5% του κόστους της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας [54].
- Ο παροπλισμός του πυρηνικού σταθμού θα διαρκέσει 43 έτη και θα αποπερατωθεί σε τρεις φάσεις:
 - Φάση I - κλείσιμο, αφοπλισμός και απολύμανση αντιδραστήρων
 - Φάση II - περίοδος λήθαργου με συνεχείς ελέγχους και εκτιμήσεις και
 - Φάση III - τελικός αφοπλισμός του σταθμού καθώς και απομάκρυνση των αποβλήτων

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε ένα μέσο κόστος απεγκατάστασης ίσο με 0,135 c€/kWh.

Η συνολική ετήσια παραγωγή ενέργειας είναι $E_{\text{ετήσια}} = 7.884GWh$.

Άρα το συνολικό ετήσιο κόστος αποσυναρμολόγησης θα είναι $7.884GWh \times 0,135 \frac{\text{c€}}{\text{kWh}} = 10.643.400\text{€}$.

Οπότε για τα 43 χρόνια που διαρκεί ο παροπλισμός του πυρηνικού σταθμού το συνολικό κόστος θα ανέρχεται στα $10.643.400\text{€} \times 43 = 457.666.200\text{€}$

- **Κόστος σταθμού:** Είναι το άθροισμα του κόστους κεφαλαίου ‘εν μία νυκτί’ και του κόστους του ιδιοκτήτη. Για την επιλογή του αντιδραστήρα που έγινε Candu 6 το κόστος του σταθμού βρέθηκε από τη βιβλιογραφία πως ανέρχεται στην τιμή των 2.330€/kW, δηλαδή στην περίπτωση μας στα 2.330 εκατομμύρια ευρώ. Ακόμα, το κόστος κεφαλαίου “εν μία νυκτί” είναι 1.568€/kW, δηλαδή συνολικά 1.568 εκατομμύρια ευρώ [54].

Στον πίνακα 6.2 παρουσιάζεται το συνολικό κόστος πυρηνικού σταθμού που λειτουργεί με 2 μονάδες αντιδραστήρων Candu 6.

Πίνακας 6.2 συνολικό κόστος πυρηνικού σταθμού

| Κόστη | Candu 6 (€/kW) |
|---------------------------------|----------------|
| Κόστος κεφαλαίου ‘εν μία νυκτί’ | 1.568 |
| Κόστος ιδιοκτήτη | 762 |
| Συνολικό κόστος σταθμού | 2.330 |

Πιο συγκριμένα, το κόστος κεφαλαίου ‘εν μία νυκτί» αποτελείται από:

- ❖ τις δαπάνες του μηχανικού σχεδιασμού και της ανάλυσης ασφάλειας
- ❖ της προμήθειας
- ❖ του ανεφοδιασμού εξοπλισμού
- ❖ της επεξεργασίας των μονάδων
- ❖ της κατασκευής/εγκατάστασης
- ❖ της διαχείρισης του προγράμματος
- ❖ του ξεκινήματος ανάθεσης
- ❖ του βαρέως ύδατος και του αρχικού φορτίου καυσίμων και
- ❖ της χορήγησης αδειών και την νομική στήριξη που απαιτείται

αλλά αποκλείει τις δαπάνες χρηματοδότησης.

Το κόστος των ιδιοκτητών περιλαμβάνει:

- ❖ τις δαπάνες άδειας για την υλοποίηση του προγράμματος
- ❖ της διαχείρισης του προγράμματος των ιδιοκτητών,

- ❖ της προεργασίας του εδάφους όπου και θα κατασκευαστή ο σταθμός
- ❖ το έμμεσο κόστος της κατανάλωσης νερού, ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της υλοποίησης
- ❖ και τέλος τις δαπάνες λοιπών εγκαταστάσεων που θα πλαισιώνουν τον σταθμό όπως σεμινάρια προσωπικού, ασφάλειας κλπ.

Στον Πίνακα 6.3 παρουσιάζεται η συνολική κατανομή του κόστους κατασκευής του σταθμού όπου και εκτιμάται στους 72 μήνες [54].

Πίνακας 6.3. Συνολική κατανομή κόστους κατασκευής πυρηνικού σταθμού [54]

| Μήνες | 0 | 12 | 24 | 36 | 48 | 60 | 72 |
|----------------|----|-----|-------|-------|-----|------|------|
| Candu 6 | 8% | 21% | 27,1% | 19,6% | 12% | 7,2% | 5,1% |

- Σταθερά και κυμαινόμενα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης: Τα έξοδα συντήρησης και λειτουργίας ενός αντιδραστήρα Candu 6 με βάση τη βιβλιογραφία, βρέθηκε ότι ανέρχονται σε 10,11€/MWh και είναι όλα μη κυμαινόμενα [54].

Στην περίπτωση μας έχουμε:

Η συνολική ετήσια παραγωγή ενέργειας είναι $E_{ετήσια} = 7.884GWh$.

Οπότε το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης θα είναι $7.884GWh \times \frac{10,11\text{€}}{MWh} = 79.707.240\text{€}$.

Έτσι, για τα 40 χρόνια λειτουργίας, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης ανέρχεται στα $79.707.240\text{€} \times 40 = 3.188.289.600\text{€}$

Το κόστος συντήρησης και λειτουργίας στους πυρηνικούς σταθμούς αποτελείται από:

- το κόστος υλικών και εργασιών συντήρησης
- τα έξοδα υποστήριξης είτε του κεντρικού γραφείου είτε εξωτερικών υπηρεσιών

- τις δαπάνες διακοπής λειτουργίας
 - καθώς και τις δαπάνες για ρυθμιστικές αμοιβές, ασφάλεια, τοπικούς φόρους κλπ.
- Τρέχουσες κύριες δαπάνες: Οι τρέχουσες κύριες δαπάνες σε πυρηνικό εργοστάσιο που λειτουργούν 2 αντιδραστήρες Candu 6 εκτιμώνται σε 7,84 εκατομμύρια ευρώ ανά έτος πιο αναλυτικά πρόκειται για 3,92 εκατομμύρια ευρώ ανά έτος για κάθε μονάδα ξεχωριστά [54]. Εν τέλει για το συγκεκριμένο σταθμό που θα λειτουργήσει για 40 χρόνια οι τρέχουσες κύριες δαπάνες θα ανέλθουν στα $7.840.000 \times 40 = 313.600.000\text{€}$
 - Κόστος αντικατάστασης δοχείου πίεσης: Μετά από την πάροδο 30 ετών λειτουργίας οποιαδήποτε μονάδα χρησιμοποιεί αντιδραστήρες CANDU 6 υποβάλλεται συνήθως σε αντικατάσταση δοχείων πίεσης. Το κόστος αντικατάστασης δοχείου πίεσης εκτιμάται στα 156,8 εκατομμυρίων ευρώ [54].

Στον Πίνακα 6.4 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα κόστη καθώς και το τελικό κόστος της παραγωγής πυρηνικής ενέργειας:

Πίνακας 6.4 Το κόστος της πυρηνικής παραγωγής

| Είδος κόστους (€) | Ετησίως | Για 40 έτη |
|--------------------------------------|---------------|----------------------|
| Εξωτερικό κόστος | 31.536.000 | 1.261.440.000 |
| Κόστος καυσίμου | 14.191.200 | 567.648.000 |
| Κόστος χρησιμοποιημένου καυσίμου | 8.987.760 | 359.510.400 |
| Κόστος απεγκατάστασης | 10.643.400 | 425.736.000 |
| Κόστος σταθμού | 2.330.000.000 | |
| Έξοδα λειτουργίας και συντήρησης | 79.707.240 | 3.188.289.600 |
| Τρέχουσες κύριες δαπάνες | 7.840.000 | 313.600.000 |
| Κόστος αντικατάστασης δοχείου πίεσης | 156.800.000 | |
| Σύνολο | - | 8.603.024.000 |

Τελικά, με βάση την οικονομική ανάλυση που παρουσιάστηκε εδώ, τα συνολικά εκτιμώμενα κέρδη από την συγκεκριμένη παραγωγή θα ανέλθουν στα 25 δισεκατομμύρια ευρώ με βάση τον ακόλουθο τύπο:

$$\begin{aligned} \text{ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΚΕΡΔΗ} &= \text{ΕΣΟΔΑ}_{40} - \text{ΕΞΟΔΑ}_{40} = 34.124.001.840 - 8.603.024.000 \\ &= 25.520.977.840\text{€} \end{aligned}$$

Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα

Στις μέρες μας η ενεργειακή αυτονομία είναι μείζονος σημασίας για ένα ευρωπαϊκό τεχνολογικά ανεπτυγμένο κράτος. Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη μιας πυρηνικής μονάδας ηλεκτροπαραγωγής στην χώρα μας, εκτός από τα οικονομικά οφέλη, επιδρά θετικά και σε πολλούς, ιδιαίτερα σημαντικούς τομείς. Επί της ουσίας, σχετίζεται άμεσα με την πολιτική, την ανάπτυξη και την ευημερία της κοινωνίας, την βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών και την μείωση της περιβαλλοντική καταστροφής. Με την ανάπτυξη μιας τέτοιας καινοτομίας τα δεδομένα μιας μονάδας ηλεκτροπαραγωγής ενισχύει την ανταγωνιστικότητα, ενδυναμώνει την πολιτική ισχύ τόσο σε εθνικό, όσο και σε ευρωπαϊκό και παγκόσμιο επίπεδο. Σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα και σε συνάρτηση με τις ανάγκες της κοινωνίας στην Ελλάδα, στην παρούσα μελέτη παρουσιάζονται τα οικονομικά γεωπολιτικά και κοινωνικά οφέλη της δημιουργίας ενός πυρηνικού σταθμού. Παράγοντες που ενισχύουν την ανάγκη ανάπτυξης ενός πυρηνικού σταθμού είναι:

- Η αύξηση της ενεργειακής ζήτηση για την κάλυψη των αναγκών.
- Η υψηλή και μεταβαλλόμενη τιμή του πετρελαίου.
- Ο μεγάλος όγκος εκπομπών CO₂ από την ηλεκτροπαραγωγή με καύσιμο άνθρακα και τις περιβαλλοντικές του συνέπειες.
- Στα πλαίσια της μελέτης που υλοποιήθηκε παρουσιάζουν ενδιαφέρον τα αποτελέσματα για μια άκρως ανταγωνιστική μορφή ενέργειας όπου :
 - Χρησιμοποιείται αρκετά μικρή ποσότητα καυσίμου
 - Παρουσιάζει ενεργειακή αυτονομία
 - Μειώνει την τιμή και το κόστος της kWh
 - Περιορίζει της εκπομπές CO₂

7.1 Προοπτικές

Τα μέτρα ανάλυσης και πολιτικής για τον σχεδιασμό του ελληνικού ενεργειακού συστήματος για την περίοδο 2017 – 2035 αποτελούν μήλο της έριδος για μετάβαση σε μια εποχή με μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου έως το 2035 [59].

Η μελέτη παρουσιάζει την πολιτική και τον σχεδιασμό του ελληνικού ενεργειακού συστήματος για τα επόμενα είκοσι χρόνια, ένα μέλλον όπου πρέπει να βρεθεί το ο βέλτιστος συνδυασμός μεθόδων ηλεκτροπαραγωγής, ο οποίος θα είναι αξιόπιστος και οικονομικά ανταγωνιστικός. Το μέλλον φαντάζει δύσκολο, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις των ειδικών καθώς η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση δεν έχει αντίκρισμα, αγνοώντας μάλιστα και την υποχρέωση που υπάρχει για τον εναρμονισμό με την «Συνθήκη του Παρισιού», μια συνθήκη που αποσκοπεί στην συγκράτηση της πλανητικής θερμοκρασίας στον 1,5°C, **δηλαδή μηδέν ορυκτά καύσιμα πολύ πριν από τα μέσα του αιώνα.**

Η μελέτη περιλαμβάνει 4 διαφορετικά σενάρια δίνοντας έμφαση στα παρακάτω:

- Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας θα αυξηθεί κατά 30% έως το 2035
- Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα μειωθούν κατά 28% στην καλύτερη από τις τωρινές τιμές έως το 2035.
- Την μείωση χρήσης λιγνιτικών μονάδων και εξόρυξης λιγνίτη λόγω αυξημένων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.
- Τη σταδιακή αύξηση της χρήσης μονάδων φυσικού αερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο βαθμό που απαιτείται βάσει μακροχρόνιων συμβάσεων.
- Την ανάπτυξη μεγάλων υδροηλεκτρικών εργοστασίων.
- Εισαγωγή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Τη χρήση πετρελαϊκών σταθμών σε κατάσταση εκτάκτου ανάγκης στις νησιωτικές απομακρυσμένες περιοχές του ελλαδικού χώρου [54].

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, στην ενεργειακή μελέτη δεν περιλαμβάνεται πουθενά η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα από πυρηνικούς σταθμούς, κρατώντας την χώρα εξαρτημένη από τρίτες χώρες για την εισαγωγή καυσίμων ακόμα και ηλεκτρικής ενέργειας από τις γείτονες χώρες. Χώρες οι οποίες διαθέτουν εδώ και χρόνια πυρηνικούς σταθμούς στην επικράτεια τους και αυτόματα καθίστανται ενεργειακά ανεξάρτητες.

Εν τέλει, για μια χώρα η οποία δεν έχει πυρηνικό παρελθόν, όπως η Ελλάδα, αν τυχόν παρθεί απόφαση υλοποίησης ενός τέτοιου σχεδίου απαιτείται εκτενής μελέτη από ειδικούς και επιστήμονες των ενεργειακών αναγκών της χώρας καθώς επίσης και εμπειριστωμένη ανάλυση και αξιολόγηση πιθανών επιπτώσεων στον οικονομικό, κοινωνικό και περιβαλλοντικό κλάδο. Ο τομέας της πυρηνικής ενέργειας έχει πολλές ιδιαιτερότητες ειδικά

στην κατασκευή του σταθμού όπου υπάρχουν πολλές δεσμεύσεις για την υψηλή τεχνογνωσία που χρειάζεται, η οποία εξαρτάται από μεγάλο πλήθος παραγόντων.

Βιβλιογραφία

- [1]. Μαμάσης Ν. & Στεφανάκος Ι., 2011, *Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία: Ορυκτά καύσιμα και Ενέργεια*, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις ΕΜΠ (http://itia.ntua.gr/~nikos/energy/ene_fossil10.pdf)
- [2]. EIA (United States Energy Information Administration), 2011, International Energy Outlook 2011 ([http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2011\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2011).pdf)).
- [3]. 2011, BP Statistical Review of World Energy 2011 (http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2011/STAGING/local_assets/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_report_2011.pdf).
- [4]. Μαμάσης Ν. 2001a, *Οδηγός Συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας*, Εκδόσεις ΚΑΠΕ (http://www.cres.gr/kape/pdf/download/chp_1.pdf).
- [5]. Depa.gr. (2016). *Depa - Home*. [online] Available at: <http://www.depa.gr> [Accessed 28 Jun. 2017].
- [6]. Μαμάσης Ν. 2011b, *Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία: Αιολική Ενέργεια*, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις ΕΜΠ (http://itia.ntua.gr/~nikos/energy/ene_wind_11.pdf)
- [7]. Μαμάσης Ν. 2010, *Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία: Ηλιακή Ενέργεια και Φωτοβολταϊκά*
- [8]. *Συστήματα*, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις ΕΜΠ
- [9]. (http://itia.ntua.gr/~nikos/energy/ene_foto_10.pdf)
- [10]. Στεφανάκος Ι., 2010, *Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία: Γεωθερμική Ενέργεια*, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις ΕΜΠ (http://itia.ntua.gr/~nikos/energy/ene_geoth.pdf).
- [11]. Ppcr.gr. (2016). *Αρχική*. [online] Available at: <http://www.ppcr.gr>.
- [12]. Κατσίρη Α., 2010, *Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία: Ενέργεια από Βιομάζα*, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις ΕΜΠ (<http://itia.ntua.gr/~nikos/energy/ene-biomass.pdf>).
- [13]. Μαμάσης Ν. & Τσουκαλά Β., 2010, *Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία: Θαλάσσια Ενέργεια*, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις ΕΜΠ (http://itia.ntua.gr/~nikos/energy/ene_thal_10_2.pdf).
- [14]. Greenpeace. *Concentrating Solar Power: Global Outlook*. 2009. [9] Greenpeace. *Concentrated Solar Thermal Power now*. 2005
- [15]. National Report PAE 2012 National Report PAE 2012. (2012).
- [16]. ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ - Δ.Ε.Η. Dei.gr. (2017). *ΔΕΗ Α.Ε.*. [online] Available at: <http://www.dei.gr> [Accessed 28 Jun. 2017].
- [17]. Ιωάννης Βούλγαρης, (Θεσσαλονίκη 2005), Πηγές ενέργειας και μετατροπή τους σε

ηλεκτρική ενέργεια, Τομέας Ηλεκτρικής Ενέργειας, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

- [18]. Φώτιος Ε. Καραγιάννης, (Δεκέμβριος 2012), ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ, Παρουσίαση στο ΕΜΠ, 5/12/12
- [19]. Κ.Βουρνάς, Β.Κ. Παπαδιάς, Κ. Ντελκής, (2011), ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ: ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ, Εκδόσεις Συμμετρία
- [20]. Ν.Μαμάσης. *Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία: Αιολική ενέργεια*. 2011.
- [21]. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Κ.Α.Π.Ε., Ζ.Ρ.Ε.Υ., ECOLE DE MINES DE PARIS. *Οδηγός Τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε*. 1999.
- [22]. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. *Ανεμογεννήτριες*, 2013.
- [23]. Π. Πασχαλίδου. Διπλωματική εργασία: *Μελέτη των διαφορετικών μεθόδων και τεχνολογιών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας*. 2010.
- [24]. *IEA: Wind Energy Annual report 2008* IEA: Wind Energy Annual report 2008. (2008). IEA.
- [25]. Δ.Ε. Παπαντώνης. Εκδόσεις Συμμετρία: *Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα*. Αθήνα, 2001.
- [26]. Δ. Καραμπατάκη. Διπλωματική εργασία: *Η συμβολή των υδροηλεκτρικών έργων στις πολλαπλές χρήσεις νερού: η κατάσταση στην Ελλάδα*. Οκτώβριος, 2009.
- [27]. Α. Μπουσδέκης, Διπλωματική εργασία: *Αξιοποίηση βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ελληνικά νησιά*. Αθήνα, 2012
- [28]. Ο. Πολύζου, Διδακτορική Διατριβή: *Γεωθερμία: Βιώσιμη Ανάπτυξη και Τοπικές Κοινωνίες*. Αθήνα, 2007.
- [29]. Μ. ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ ΝΤΟΜΗΣ , ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
- [30]. World Nuclear Association, Nuclear Basics: How does a nuclear reactor make electricity, <http://www.world-nuclear.org/Nuclear-Basics/How-does-a-nuclear-reactor-makeelectricity/>
- [31]. John R. Lamarsh, Anthony J. Baratta, Introduction to Nuclear Engineering, THIRD EDITION
- [32]. The Free Encyclopedia: Magnox Reactors
- [33]. The Free Encyclopedia: File:AGR reactor schematic.svg
- [34]. The Free Encyclopedia: File:Very High Temperature Reactor.svg
- [35]. L.S. Tong, Core cooling in a hypothetical loss of coolant accident. Estimate of heat transfer in core meltdown, Westinghouse Electric Corporation, Atomic Power Divisions, Pittsburgh, Pennsylvania, USA

- [36]. Μάριος Βερέττας, (Ρόδος 2011), ΤΑ ΠΥΡΗΝΙΚΑ: Παγκόσμια Ιστορία των πυρηνικών εξοπλισμών, των πυρηνικών εργοστασίων και των πυρηνικών ατυχημάτων, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΒΕΡΕΤΤΑ
- [37]. Shinji Fushiki, (2012), Radiation hazards in children – Lessons from Chernobyl, Three Mile Island and Fukushima, Department of Pathology and Applied Neurobiology, Kyoto Prefectural University of Medicine, Graduate School of Medical Science
- [38]. EEA (European Environment Agency), EEA (European Environment Agency). (2014). [online] Available at: <http://> [Accessed 28 Jun. 2017].
- [39]. (United States Environmental Protection Agency), 2012, *Inventory of United States Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2010* (<http://www.epa.gov/climatechange/Downloads/ghgemissions/US-GHG-Inventory-2012http://www.epa.gov/climatechange/Downloads/ghgemissions/US-GHG-Inventory-2012-Main-Text.pdfMain-Text.pdf>)
- [40]. ΤΕΕ 2008, *Γεωθερμία και τυποποίηση*, Διήμερο Συμπόσιο για την Τυποποίηση, Αθήνα (http://library.tee.gr/digital/m2351/m2351_fitikas.pdf).
- [41]. 2008, *Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Βιομάζας* (<http://www.ypeka.gr/rescampaign2008/downloads/biomaza.pdf>)
- [42]. Μαμάης Δ., 2010, Αρχές Οικολογίας και Περιβαλλοντικής Χημείας, *Διαφάνειες για τη Διάλεξη με Θέματα: Ρύπανση Νερού, Αποξυγόνωση, Οργανικές Ενώσεις στο Νερό, Θρεπτικά, Ευτροφισμός, Τεχνολογία Ελέγχου Ρύπανσης*, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις ΕΜΠ (<http://itia.ntua.gr/nikos/oikologia/index.htm>)
- [43]. 2009, *Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις και Επανορθωτικά Μέτρα Μεγάλων Υδροηλεκτρικών Έργων στην Ελλάδα*, Συνέδριο με θέμα 'Η Συμβολή των Υδροηλεκτρικών Έργων στον Ενεργειακό Σχεδιασμό της Χώρας', Ιωάννινα (http://library.tee.gr/digital/m2380/m2380_roti.pdf).
- [44]. 2004, *Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις από Μικρούς Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς-Η Ελληνική Εμπειρία*, Τεχνικά Χρονικά, III, Τεύχος 1-2, Επιστημονικές Εκδόσεις ΤΕΕ,
- [45]. (http://portal.tee.gr/portal/page/portal/PUBLICATIONS/SCIENTIFIC_PUBLICATIONS/SEIRA_III/ETOS_2004/tefhosA/1.pdf).
- [46]. WAVEPLAM, 2010, *Τα Πως και τα Γιατί της Κυματικής Ενέργειας. Ένας Οδηγός για τους Επενδυτές και τους Υπεύθυνους για τη Χάραξη Πολιτικής* (<http://www.waveplam.eu/files/downloads/WavePlamFinal.pdf>)
- [47]. OECD-NEA 2010, (Organisation for Co-Operation and Development-Nuclear Energy Agency) *Technology Roadmap: Nuclear Energy* (<http://www.oecd-nea.org/ndd/reports/2010/nea6962-nuclear-roadmap.pdf>)
- [48]. Υπεκα.gr. (2017). *Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας*. [online] Available at: <http://ypeka.gr> [Accessed 28 Jun. 2017].

- [49]. EEA (European Environment Agency), 2008, *Air pollution from electricity-generating large combustion plants*, Copenhagen (http://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2008_4)
- [50]. Ντάγια Π., 2009, Διπλωματική εργασία, *Μακροπρόθεσμος Προγραμματισμός Διαχείρισης Δικαιωμάτων Εκπομπών Ρύπων*, 108 σελίδες, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Θεσσαλονίκη.
- [51]. European Commission, 2009, *The EU Emissions Trading Scheme* (http://ec.europa.eu/clima/publications/docs/ets_en.pdf)
- [52]. ΑΔΜΗΕ (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας), 2016, (<http://www.admie.gr>)
- [53]. Eia.gov International Energy Statistics. (2013). *Total Primary Energy Production 2014*. [online] Available at: <https://www.eia.gov/beta/international/data/browser/#/?c=410000000200006000000000000020000000000000000000001&vs=INTL.44-1-AFRC-QBTU.A&vo=0&v=H&start=1980&end=2014>.
- [54]. Τσιούτρα Σταυρούλα, Ρόγκκου Αικατερίνη, (Θεσσαλονίκη 2010), Σύγκριση Αιολικού και Πυρηνικού Σταθμού, Τομέας Ηλεκτρικής Ενέργειας, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
- [55]. Φίλοι Τεχνικού Μουσείου Θεσσαλονίκης, Πυρηνική ενέργεια-Πυρηνικοί Αντιδραστήρες, <http://www.tmth.gr/sciencerelated/59-applications/361-pyriniki-energeia>
- [56]. Westinghouse - Simplified plant arrangement, https://www.ukap1000application.com/modularization_and_construction.aspx
- [57]. D'Olier R., Cunningham J., Coward R. (2005) Nuclear Power Plant Construction Infrastructure Assessment, Department of Energy Washington, D. C
- [58]. Ayres M., MacRae M., Stogran M. (2004) Levelised Unit Electricity Cost Comparison of Alternate Technologies for Baseload Generation in Ontario, Canadian Energy Research Institute, Canadian Nuclear Association
- [59]. The European Commission, COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIALCOMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS, A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050